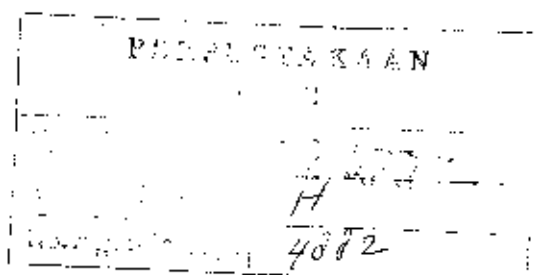


3100096007461

TUGAS AKHIR

STUDI PENGENDALIAN EROSI DAS LESTI



RSS
627.5
Suh
S-1
1995



Disusun oleh :
BAMBANG SUHARSONO
NRP. 3913101044

BIDANG STUDI HIDROTEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

1995

TUGAS AKHIR
STUDI PENGENDALIAN EROSI
DAS LESTI

Mengetahui / Menyetujui
Dosen Pembimbing



Ir. NADJADJI ANWAR, M.Sc.

BIDANG STUDI HIDROTEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1995

STUDI PENGENDALIAN EROSI DAS LESTI

BAMBANG SUHARSONO :	391 310 1044
DOSEN PEMBIMBING :	IR. NADJADJI ANWAR MSc.

A B S T R A K

Waduk Karangates yang mulai dioperasikan pada tahun 1972, direncanakan dengan perhitungan bahwa laju sedimentasi-nya adalah sebesar 510 000 m³/th dari daerah aliran seluas 2 050 km² dengan angka erosi 0.25 mm/th, sehingga umur efektif waduk bisa mencapai 100 tahun. Dari hasil pengukuran tim hidrologi dari Inggris (1980) menunjukkan bahwa sedimentasi dari tahun 1973-1977 mencapai 6.2 juta m³ per tahun, mengakibatkan umur efektif waduk menjadi 30 tahun. Menurut penelitian staf Brantas 70 %-nya berasal dari DAS Lesti.

Untuk menanggulangi masalah di atas adalah digalakkan-nya usaha Konservasi Tanah pada DAS Lesti. Konservasi Tanah ditujukan untuk mencegah kerusakan tanah oleh erosi, memperbaiki tanah yang rusak, memelihara serta meningkatkan produktivitas tanah agar dapat dipergunakan secara lestari.

Jumlah sedimen yang masuk ke dalam Waduk Karangates sebelum adanya tindakan Konservasi Tanah diperkirakan 2.9 juta m³ per tahun.

Dari hasil analisa, dengan adanya terasering, penanaman dan pengolahan tanah menurut kontur, penanaman tanaman penutup tanah, guludan, membuat sedimen yang masuk ke dalam Waduk Karangates dapat ditekan menjadi 1.28 juta m³ per tahun.

K A T A P E N G A N T A R

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat serta petunjuk-Nya sehingga penyusunan Laporan Tugas Akhir dengan judul "Studi Pengendalian Erosi DAS Lesti" dapat diselesaikan.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan studi pada jurusan Teknik Sipil di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Adapun dalam penyusunannya, keterangan-keterangan yang ada kami dasarkan pada diktat selama kuliah, literatur-literatur yang berhubungan dengan perencanaan, serta data-data otentik yang kami ambil dari Kantor Dinas Sub BRLKT di Malang.

Pada kesempatan ini, kami menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak DR. Ir. I Gusti Putu Raka, selaku Kepala Jurusan Teknik Sipil FTSP - ITS.
2. Ibu Ir. Anggrahini Msc , selaku Ketua Bidang Studi Hidroteknik Jurusan Teknik Sipil FTSP - ITS.
3. Bapak Ir. Nadjadji Anwar Msc, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir ini.
4. Direksi dan Staf Kantor Dinas Sub Balai Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah di Malang.

Mengingat keterbatasan waktu, kemampuan, pengalaman maupun pustaka yang ada serta data-data yang tersedia maka kami menyadari bahwa penyusunan Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu saran, koreksi dan yang lainnya dari pembaca sangat diharapkan demi perbaikan

dan penambahan pengalaman.

Akhirnya semoga Laporan Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi kita semua khususnya bagi kami.

Surabaya, Februari 1985

Penyusun

D A F T A R I S I

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	x

BAB I P E N D A H U L U A N

1.1. U M U M	1
1.2. LATAR BELAKANG	3
1.3. MAKSUD DAN TUJUAN	6
1.4. LINGKUP PEMBAHASAN	7

BAB II T I N J A U A N P U S T A K A

II.1. Faktor - faktor erosi	8
1.1. Climate (Iklim)	8
1.2. Keadaan topografi	10
1.3. Soil = Tanah	11
1.4. Vegetasi = Tanaman	15
1.5. Human = Manusia	17
II.2. Analisa studi	20
2.1. Metode Prediksi Erosi	20
2.1.1. Faktor erosivitas hujan	20
2.1.2. Faktor erodibilitas tanah	21
2.1.3. Faktor topografi	24
2.1.4. Faktor pengelolaan tanah dan	

tanaman penutup tanah	25
2.1.5. Faktor teknik konservasi	28
2.2. Sedimen Delivery Ratio	32
2.3. Angkutan Sedimen	34
2.3.1. Analisa Suspended Load	35
2.3.2. Analisa Bed Load	35
 BAB III SEDIMEN TRANSPORT	
III.1. Sumber Material Sedimen	38
1.1. Perhitungan Indeks Erosivitas Hujan	
(Elao)	38
1.2. Perhitungan erosi lahan	38
III.2. Sedimen Transport	48
2.1. Perkiraan Sedimentasi Potensial	48
2.1.1. Kapasitas sedimen transport	
Kali Lesti	48
2.1.2. Erosi pada alur Kali Lesti ..	48
2.2. Sedimentasi waduk	49
2.2.1. Tinjauan pada Waduk	
Sengguruh	49
2.2.2. Tinjauan pada Waduk	
Karangates	55
 BAB IV PENGENDALIAN EROSI	
IV.1. Erosi diperbolehkan	62
IV 2. Konservasi Tanah	63

2.1. Metode Vegetatif	64
2.2. Metode Teknik Sipil	68
IV.3. Perhitungan perkiraan besarnya erosi lahan	73
IV.4. Sedimentasi waduk setelah tindakan konservasi	77
4.1. Tinjauan pada Waduk Sengguruh	77
4.2. Tinjauan pada Waduk Karangates	79
 BAB V ANALISA BIAYA	
V.1. Perkiraan perhitungan biaya pelaksanaan tindakan konservasi tanah	82
V.2. Perhitungan benefit PLTA Karangates	88
 BAB VI KESIMPULAN	97
 DAFTAR PUSTAKA	99

D A F T A R T A B E L

hal.

Tabel 2.1.	Distribusi tanah pada Sub DAS Lesti Hulu -----	14
Tabel 2.2.	Komposisi tata guna lahan pada Sub DAS Lesti Hulu -----	19
Tabel 2.3.	Klasifikasi Erodibilitas tanah di Indonesia -----	23
Tabel 2.4.	Perkiraan besarnya nilai K pada DAS Lesti ----	23
Tabel 2.5.	Nilai C dari berbagai macam Tata Guna Lahan -----	27
Tabel 2.6.	Nilai P dari beberapa Teknik Konservasi -----	29
Tabel 2.7.	Nilai CP dari beberapa macam penggunaan lahan -----	31
Tabel 3.1.1.	Curah hujan rata-rata bulanan (Rb), curah hujan maksimum (Rm) dan jumlah hari hujan (N) Stasiun Gondanglegi -----	38
Tabel 3.1.2.	Curah hujan rata-rata bulanan (Rb), curah hujan maksimum (Rm) dan jumlah hari hujan (N) Stasiun Dampit -----	40
Tabel 3.1.3.	Curah hujan rata-rata bulanan (Rb), curah hujan maksimum (Rm) dan jumlah hari hujan (N) Stasiun Poncokusumo -----	42
Tabel 3.1.4.	Perhitungan Indeks Erosivitas Hujan Stasiun Gondanglegi -----	44
Tabel 3.1.5.	Perhitungan Indeks Erosivitas Hujan Stasiun Dampit -----	45

Tabel 3.1.6. Perhitungan Indeks Erosivitas Hujan	
Stasiun Poncokusumo	46
Tabel 3.2.1. Perhitungan perkiraan besarnya erosi pada	
DAS Lesti	47
Tabel 3.2.2. Perhitungan usia guna Waduk Sengguruh	54
Tabel 3.2.3. Informasi dasar tentang status sedimen di	
Waduk Karangates	56
Tabel 3.2.4. Hasil pengukuran sedimen pada Waduk	
Karangates	57
Tabel 3.2.5. Perhitungan usia guna Waduk Karangates	61
Tabel 4.1.1. Pengaturan lahan pada DAS Lesti	75
Tabel 4.1.2. Perhitungan perkiraan besarnya erosi pada	
DAS Lesti	76
Tabel 4.1.3. Perhitungan usia guna Waduk Sengguruh	80
Tabel 4.1.4. Perhitungan usia guna Waduk Karangates	81
Tabel 5.1. Perincian biaya teras bangku	83
Tabel 5.2. Perincian biaya kegiatan penanaman penu-	
tup tanah	84
Tabel 5.3. Perincian biaya kegiatan penanaman menu-	
rut kontur	85
Tabel 5.4. Perincian biaya kegiatan penanaman rumput	86
Tabel 5.1.1. Perhitungan perkiraan biaya konservasi pa-	
da DAS Lesti	87
Tabel 5.6. Faktor penyesuaian	89
Tabel 5.8. Perhitungan harga energi (energi value)	90
Tabel 5.5. Biaya konstruksi alternatif PLTU Gresik	

	(MW)	91
Tabel 5.7.	Perhitungan harga kapasitas (capacity value) US \$/Kw	92
Tabel 5.9.	Perhitungan benefit PLTA Karangates	93
Tabel 5.10.	Beaya kapital PLTA Karangates (1000US \$)	94
Tabel 5.11.	Beaya kapital tindakan konservasi (Rp)	95
Tabel 5.12.	Beaya dan keuntungan kapital	96

D A F T A R G A M B A R

	hal.
Gambar 2.1. Peta Topografi	12
Gambar 2.2. Peta Jenis Tanah	14a
Gambar 2.3. Peta Tata Guna Lahan	19a
Gambar 2.4. Peta Curah Hujan dan topografi	24a
Gambar 2.4.a. Potongan melintang beberapa kemiringan lereng	24b
Gambar 2.5. Peta Daerah Tumpang Tindihan	37a
Gambar 3.1. Efisiensi tangkapan dari waduk normal	50a
Gambar 4.1. Sketsa pengolahan tanah dan penanaman menurut kontur	69a
Gambar 4.2. G u l u d a n	70a
Gambar 4.3. Guludan bersaluran	71a
Gambar 4.5. Penampang melintang teras bangku	72a
Gambar 4.5.a. Sketsa denah teras dan saluran pembuang	72b
Gambar 4.5.b. Penampang teras bangku dan saluran pembuang	72b
Gambar 4.6. Penampang melintang terjunan bambu	73a
Gambar 4.6.a. Terjunan bambu tampak depan	73b

B A B I

P E N D A H U L U A N

I.1. U M U M

Perkembangan jumlah penduduk Indonesia setelah kemerdekaan terjadi dengan sangat cepat. Penduduk Indonesia yang diawal kemerdekaan (pada tahun 50-an) hanya \pm 60 juta telah berkembang menjadi lebih dari \pm 180 juta pada tahun 80-an sekarang ini. Sejalan dengan pertambahan penduduk tersebut terjadilah peningkatan kebutuhan hidup, baik secara kuantitas maupun kualitas.

Pada pihak lain, ketersediaan sumber daya lahan, dimana manusia mendapatkan pemuasan kebutuhan hidupnya, tetap dan sangat terbatas. Keadaan dua hal yang saling bertentangan tersebut akan meningkatkan tekanan penduduk atas sumber daya lahan. Jika pada suatu saat, yang pada saat ini telah terjadi di beberapa tempat, tekanan penggunaan lahan melebihi daya dukung lahan, terjadilah kerusakan lahan.

Lahan yang subur dan cocok untuk usaha pertanian tanaman semusim terbatas sekali. Lahan yang terbatas ini menjadi semakin terbatas dengan dipergunakannya lahan tersebut untuk kepentingan perumahan dan industri yang sejak tahun 70-an berkembang dengan pesat. Dalam hubungannya dengan kepentingan ini, beberapa pakar memperkirakan bahwa sejak tahun 80-an, setiap tahun



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

terjadi pengurangan areal pertanian sebanyak 10.000-30.000 Ha. Akibatnya, untuk memenuhi kebutuhan penduduk, lahan yang ada telah dipaksa untuk berproduksi setinggi-tingginya, dan karena dengan cara inipun belum mencukupi, maka pertanian tanaman semusim mau tidak mau harus menggunakan lahan yang sebenarnya tidak diperbolehkan untuk tanaman semusim.

Lahan-lahan miring, yang sebelumnya ditumbuhi tanaman tahunan dibabat habis dan dipaksa untuk digunakan usaha pertanian tanaman semusim secara intensif. Akibatnya, hujan yang terjadi pada waktu lahan masih ada tanaman tahunan dapat diserap masuk kedalam tanah, sekarang dengan ditebangnya tanaman tahunan tersebut, tanah tidak mampu lagi menyerap air hujan yang jatuh. Sehingga air hujan yang jatuh tersebut langsung mengalir di permukaan tanah sebagai air limpasan yang menghancurkan dan mengangangkut tanah lapisan atas.

Proses pengangkutan butir-butir tanah ini akan berhenti baik untuk sementara atau tetap, sebagai pengendapan atau sedimentasi.

Proses pengendapan sementara terjadi pada lereng yang bergelombang terutama pada bagian lereng yang cekung, endapan partikel yang hanyut tersebut akan ditampung untuk sementara dan pada hujan berikutnya endapan ini akan terangkut kembali menuju dataran yang lebih rendah atau

langsung menuju sungai. Pengendapan akhir atau sedimentasi terjadi pada kaki bukit yang relatif datar, sungai dan waduk.

Pada daerah aliran sungai partikel dan unsur hara yang terbawa dalam aliran permukaan akan mengalir ke sungai dan waduk, sehingga terjadi pendangkalan pada tempat-tempat tersebut. Keadaan ini akan mengakibatkan daya tampung sungai dan waduk menjadi turun.

I.2. LATAR BELAKANG

Proses erosi bermula dengan terjadinya pemecahan bongkah-bongkah atau agregat tanah kedalam bentuk butir-butir kecil atau partikel tanah sebagai akibat pukulan air hujan yang mempunyai energi lebih besar daripada daya tahan tanah. Hancuran dari tanah ini akan menyumbat pori-pori tanah sehingga kapasitas infiltrasi tanah akan menurun dan mengakibatkan air mengalir ke permukaan tanah, yang disebut *limpasan permukaan* yang mempunyai energi untuk mengikis dan mengangkut partikel-partikel tanah yang telah dihancurkan. Selanjutnya jika tenaga limpasan permukaan sudah tidak mampu lagi mengangkut bahan-bahan hancuran tersebut, maka bahan-bahan ini akan diendapkan. Dengan demikian ada tiga proses yang bekerja secara berurutan dalam proses erosi, yaitu diawali dengan penghancuran agregat-agregat,

pengangkutan dan diakhiri dengan pengendapan.

Erosi permukaan sangatlah sulit untuk dilihat, terutama apabila terjadi pada tanah dengan sudut kemiringan yang kecil. Tetapi meskipun demikian pengaruhnya tetap nyata karena dapat dibedakan dengan adanya penurunan kesuburan tanah. Sehingga semakin lama tanah akan semakin miskin karena air hujan yang jatuh dan mengalir diatas permukaan tanah tersebut akan menghanyutkan butir-butir tanah yang mengandung unsur-unsur hara tanaman secara berangsur-angsur.

Perhatian terhadap masalah erosi menjadi lebih besar terutama sejak dibangunnya beberapa bendungan besar di beberapa sungai besar di Pulau Jawa, antara lain Bendungan JatiLuhur di Citarum, Karangates di Kali Brantas, Gajah Mungkur di Bengawan Solo dan masih banyak lagi.

Karena adanya endapan berlebihan yang terjadi karena erosi, beberapa pakar telah memperhitungkan adanya penurunan efektivitas dan umur bendungan-bendungan tersebut. Kerugian yang ditimbulkan karena erosi mempunyai dampak yang sangat luas. Dalam hal ini kerusakan dan kerugian dialami didaerah dimana erosi terjadi (daerah hulu), juga didaerah yang dilewati aliran sedimen (daerah tengah) dan dibagian hilir. Tentu saja kerugian yang ditimbulkan erosi didaerah hulu akan berbeda dengan yang terjadi didaerah tengah maupun hilir.

Di daerah hulu, dimana terjadi pengikisan dan pengangkutan lapisan tanah atas, akan terjadi kerusakan penurunan produktivitas tanah serta terjadi kekurangan air terutama dimusim kemarau.

Dengan terkikis dan terangkutnya lapisan tanah bagian atas sebagai akibat terjadinya proses erosi, menyebabkan kandungan hara tanaman yang terdapat pada lapisan ini ikut terbawa. Karena kandungan hara yang merupakan sumber kehidupan bagi tanaman ini sudah berkurang volumenya maka tanaman akan mengalami kekurangan hara yang digunakan untuk tumbuh dan hidup di atasnya, sehingga produktivitas tanaman akan ikut berkurang juga.

Sementara itu dengan keadaan lahan yang terbuka, mengakibatkan air yang mengalir di permukaan tanah sebagai limpasan permukaan yang juga membawa material sedimen ini tidak ada lagi yang menghambatnya, sehingga kapasitas infiltrasi akan berkurang. Hal ini menyebabkan kemampuan tanah untuk menyediakan air berkurang.

Di daerah tengah, yang merupakan daerah yang dilalui oleh tanah tererosi dalam lahan atas, akibat erosi yang paling dirasakan adalah terjadinya pengendapan bahan endapan pada sumber-sumber air, danau dan bendungan-bendungan. Karena terjadi pengendapan maka kejadian selanjutnya akan terjadi pendangkalan sungai-sungai dan sekaligus muka air akan mudah sekali

meluap.

Seperti yang terjadi dengan kasus di Kali Brantas, Waduk Karangates yang mulai dibangun tahun 1972, direncanakan dengan perhitungan bahwa laju sedimentasi adalah sebesar $51.000 \text{ m}^3/\text{tahun}$ yaitu dari daerah aliran 2.050 Km^2 dengan angka erosi $0,25 \text{ mm/tahun}$. Sehingga umur bendungan dapat dicapai dengan efektif selama 100 tahun. Akan tetapi dari hasil pengukuran yang dilakukan oleh tim hidrologi dari Inggris (1980), menunjukkan bahwa sedimentasi dari tahun 1973-1977 mencapai 8,2 juta m^3 per tahun. Dengan demikian umur efektif Waduk Karangates tidak akan lebih dari tiga puluh tahun.

Di daerah hilir, akibat erosi yang paling mudah dan paling lama adalah banjir dengan segala akibatnya.

I.3. MAKSUD DAN TUJUAN

Maksud dari studi ini adalah untuk mengetahui :

- besarnya erosi yang terjadi pada DAS Lesti.
- besarnya sedimen yang masuk ke sungai.
- besarnya sedimen transport yang masuk ke dalam Waduk Sengguruh dan Karangates.

Sedangkan tujuannya adalah untuk mencari alternatif pengendalian erosi pada DAS Kali Lesti sedemikian hingga besarnya erosi dapat ditekan, sehingga sedimen yang akan mengalir ke Waduk Karangates ikut berkurang jumlahnya.

Dengan demikian diharapkan waduk tersebut dapat berfungsi sesuai dengan umur yang direncanakan.

I.4. LINGKUP PEMBAHASAN

Besarnya erosi lahan yang terjadi pada suatu DAS tergantung pada tata guna lahan, jenis tanah, curah hujan, panjang dan kemiringan lereng. Tidak semua sedimen hasil erosi tersebut akan masuk ke dalam sungai, sebagian akan tertahan pada lereng-lereng. Sedimen yang berhasil masuk ke dalam sungai akan ikut terbawa aliran, yang berpotensi untuk mengendap pada waduk-waduk. Pada studi ini besarnya sedimen yang masuk ke dalam sungai dianggap seimbang dengan besarnya sedimen transport pada sungai. Kemudian besarnya sedimen yang berasal dari sungai-sungai lain dan bermuara pada Waduk Sengguruh dan Waduk Karangates tidak dianalisa, dan dianggap tetap. Jika sedimen yang masuk dan mengendap ke dalam waduk melebihi dari besarnya laju sedimentasi pada waduk tersebut maka akan terjadi pengurangan umur efektif dari waduk tersebut.

Untuk mengendalikan besarnya erosi yang terjadi pada DAS diusulkan adanya konservasi lahan, sedemikian hingga besarnya sedimen hasil erosi dapat ditekan.

Diperlukan analisa biaya untuk menghitung besarnya benefit waduk dengan adanya konservasi lahan ini.

B A B II

T I N J A U A N P U S T A K A

II.1. FAKTOR-FAKTOR EROSI

Erosi, banjir dan kekeringan merupakan tiga serangkai malapetaka yang selalu mengancam beberapa daerah akhir-akhir ini, yang berlangsung secara bergantian sepanjang tahun. Pada musim penghujan terjadi erosi dan banjir, sedang pada musim kemarau kekeringan ganti melanda. Banjir terjadi karena tidak adanya keseimbangan antara curah hujan dengan peresapan air, sehingga air hujan langsung mengalir ke sungai-sungai sebagai aliran permukaan atau Surface Run-off. Disamping itu karena kurangnya penutup tanah maka titik-titik hujan dapat langsung memukul permukaan tanah dan diceraiberaikan. Makin banyak air yang mengalir dipermukaan (*Surface Run-off*) makin sedikit air yang meresap kedalam tanah. Dengan sedikitnya air yang meresap kedalam tanah akan mengakibatkan kandungan air tanah tidak mendapatkan tambahan dari air hujan, sehingga sumber-sumber air kering, begitu pula sungai-sungainya. Hal ini akan sangat berpengaruh terhadap kehidupan tanaman, karena makin jauhnya zone air dari zone akar. Akibatnya pada musim kemarau mengalami kesulitan air, baik untuk irigasi maupun untuk konsumsi manusia apalagi

baik untuk irigasi maupun untuk konsumsi manusia apalagi untuk peternakan. Besar kecilnya erosi yang terjadi dipengaruhi oleh berbagai macam faktor¹. Faktor-faktor yang mempengaruhi tersebut dapat ditulis sebagai berikut :

$$E = (C \ T \ S \ V \ H) \quad (2.1)$$

Jadi (E) = erosi merupakan fungsi dari :

(C) = Climate/iklim

(T) = Topografi/kemiringan tanah/slope

(S) = soil/tanah

(V) = Vegetasi/tanaman

(H) = human/manusia

II.1.1. C = Climate (Iklim)

Dari unsur-unsur iklim, maka intensitas hujan memegang peranan yang paling penting dalam menentukan besar-kecilnya erosi. Hujan lebat yang berlangsung lama dengan butiran yang besar akan menimbulkan erosi lebih besar daripada hujan rintik-rintik. Hal ini berhubungan dengan besarnya energi dari butir-butir hujan yang mengenai permukaan tanah dan banyaknya air hujan yang menghanyutkan pecahan-pecahan butir tanah tersebut. Sebenarnya unsur-unsur iklim yang lain seperti kelembaban, suhu, angin, dan lain-lain juga berpengaruh

¹ Prof. DR. Ir. Sitanala Arsyad, *KONSERVASI TANAH DAN AIR*, 1989.

tetapi pengaruhnya tidak langsung. Faktor iklim ini sering disebut faktor alam karena besar kecilnya semata-mata tergantung dari alam.

Menurut informasi dari Laporan Hidrologi Sub DAS Lesti Hulu, BRLKT (Balai Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah) pola curah hujan pada areal studi sangat dipengaruhi oleh angin Muson Barat Laut dan Tenggara. Pengaruh angin ini menyebabkan curah hujan tertinggi pada bulan Nopember sampai April Curah hujan tahunan rata-rata yang tercatat di stasiun hujan Poncokusumo dan Dampit adalah 1134-2164 mm, sedangkan bagian hulu wilayah studi mempunyai curah hujan yang tinggi yaitu 3400 mm pertahun.

II.1.2. Keadaan Topografi

Tanah yang permukaannya datar, dapat dikatakan kecil sekali atau tidak akan mengalami erosi. Sebaliknya, semakin besar kemiringan lereng suatu bidang tanah maka bahaya akan terjadinya erosi juga semakin besar.

Peta Studi Screening DAS Brantas, Kali Konto River Project, ATA-206 Phase 3, tahun 1988 menunjukkan bahwa Sub DAS Lesti Hulu terletak di lereng Gunung Semeru yang masih aktif, dimana bagian yang tertinggi merupakan puncak dari Gunung Semeru (± 3676 m dari

permukaan laut), sedangkan bagian yang terendah yang membentuk dataran rendah alluvial terletak diantara ketinggian 250-500 m dpl. Peta topografi daerah studi bisa dilihat pada Gambar 2.1.

Secara morfologis Sub DAS Lesti Hulu dikelompokkan menjadi tiga sistem, yaitu sistem dataran (250-500 m dpl), sistem perbukitan (500-1000 m dpl), dan sistem pegunungan (> 1000 m dpl).

Bagian tertinggi dari Sub DAS Lesti Hulu merupakan terrain pegunungan vulkanik curam yang mencapai ketinggian lebih dari 2000 m dpl. Pada lereng bagian atas dari terrain ini kemiringannya melebihi 45%. Lereng bagian tengah dengan kemiringan antara 25% - 45%. Sedangkan lereng bagian bawah kemiringan lahan antara 8-25%.

Sistem terrain lembah terdiri dari lembah bentuk U dengan kelerengan yang tidak melebihi 4% dan lembah bentuk V dengan kelerengan lebih dari 8%. Bagian terbawah dari sistem terrain di Lesti Hulu terdiri dari sistem dataran dengan kelerengan tidak melebihi dari 8%.

II.1.3. Soil = Tanah

Jenis tanah disini dimaksudkan dengan macam struktur dan tekstur tanah. Dapat dikatakan bahwa jenis

tanah yang bertekstur liat, strukturnya akan kuat, butir-butir tanahnya tidak mudah lepas satu sama lain sehingga akan lebih tahan terhadap pukulan air hujan, run-off atau erosi. Hal ini dibandingkan dengan jenis tanah bertekstur pasir yang strukturnya lemah/gembur. Makin mudah tanah meresapkan air, erosi yang terjadi makin kecil dan sebaliknya makin sukar meresapkan air maka makin besar erosi yang terjadi. Mudah tidaknya tanah meresapkan air dipengaruhi oleh tekstur dan strukturnya. Sifat-sifat tanah yang sekarang ini adalah sebagai akibat adanya interaksi beberapa faktor pembentuk tanah, yaitu antara lain: iklim, bahan induk, topografi, vegetasi, tataguna lahan dan waktu. Yang paling dominan dari faktor tersebut diatas adalah bahan induk, iklim, dan kegiatan tata guna lahan akhir-akhir ini, terutama pembudidayaan padi dengan irigasi gravitasi. Distribusi jenis tanah untuk daerah studi bisa dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Distribusi tanah di Sub DAS Lesti Hulu

Kode	Jenis Tanah	Luas	
		(Ha)	%
N	Andosol	9,905.26	25.04
RN	Assosiasi Regosol dan Andosol	1,526.32	3.86
RK	Assosiasi Regosol dan Kambisol	926.32	2.34
R-1	Regosol-1	2,442.11	6.17
R-2	Regosol-2	4,200.00	10.62
K	Kambisol	2,557.89	6.47
AR	Assosiasi Alluvial dan Regosol	1,557.89	3.94
M	Mediteran	1,610.53	4.07
T	Latosol	8,221.05	20.78
L-1	Litosol-1	242.11	0.61
L-2	Litosol-2	347.37	0.88
A	Alluvial	6,021.05	15.22
J u m l a h		39,557.90	100.00

II.1.4. Vegetasi = Tanaman

Makin rapat tanaman menutup tanah makin kecil erosinya, makin jarang tanaman akan makin besar erosi yang terjadi.

II.1.4.a. Hutan

Ditinjau dari sudut erosi, hutan yang baik adalah hutan yang vegetasinya rapat dan semakin berkurang kerapatan dari vegetasinya berarti hutan tersebut kurang baik. Fungsi hutan yang baik dalam mengurangi erosi antara lain :

- Vegetasi hutan dapat menahan pukulan atau memperkecil energi dari butir-butir hujan sebelum sampai dipermukaan tanah.
- Vegetasi hutan dapat menghasilkan humus-humus, sehingga air hujan yang sudah diperlemah energinya dapat diserap oleh humus-humus tersebut dan selanjutnya meresap kedalam tanah (infiltrasi) berarti pula run-off diperkecil.

Jadi pada hutan yang baik dapat dikatakan terjadinya erosi relatif kecil sekali.

II.1.4.b. Tegal

Tanah tegal adalah tanah pertanian yang tidak mendapatkan air irigasi, pengairannya tergantung air

hujan, umumnya ditanami polowijo. Tanah tegal banyak terdapat pada tanah-tanah miring bahkan sering juga terdapat pada tanah-tanah yang kemiringannya besar ($>50\%$), tanpa membuat teras-teras dan disini run-offnya besar sekali. Pada tanaman polowijo, untuk tumbuh baik menghendaki tanah yang gembur, sehingga pengolahan dikerjakan dengan dibajak, digaru, dicangkul sampai menjadi gembur. Apabila air hujan jatuh akan dengan mudah menghancurkan permukaan tanah tegal. Dari hal-hal tersebut diatas dapat dikatakan bahwa tanah tegal merupakan sumber terjadinya erosi yang besar.

II.1.4.c. Sawah

Tanah sawah adalah daerah pertanian yang mendapatkan air irigasi. Umumnya ditanam padi, yang pengolahan tanahnya menghendaki struktur lumpur dan merupakan petak-petak berteras dilengkapi pematang. Keuntungan tanah sawah ditinjau dari segi erosi antara lain :

- Pada tanah sawah, praktis permukaannya selalu digenangi air. Air hujan yang jatuh akan diterima oleh genangan air tersebut, sehingga permukaan tanah akan terhindar dari pukulan/energi butir-butir air hujan.

- Tanah sawah yang dilengkapi dengan pematang-pematang akan berfungsi seperti waduk kecil, karena air irigasi atau air hujan yang masuk ke sawah akan ditampung sementara dan ada kesempatan mengendapkan lumpur atau partikel-partikel lain yang dibawanya, untuk selanjutnya kelebihan air akan dikeluarkan sebagai air yang relatif bersih, bebas dari lumpur.

Dengan demikian tanah sawah dapat dianggap bukan sebagai sumber erosi, sebaliknya dapat mengurangi erosi.

II.1.5. Human = Manusia

Secara langsung atau tidak langsung aktivitas manusia dapat mempengaruhi besar kecilnya erosi. Misalnya mengalirkan air tidak pada saluran yang baik, mengolah tanah sawah sambil mengalirkan air, dll.

Kal lain yang berhubungan dengan manusia ini adalah adanya tempat tinggal atau perkampungan. Kampung disini dimaksudkan sebagai daerah tempat tinggal penduduk dengan bangunan-bangunan rumah kediaman maupun bangunan-bangunan untuk kegiatan kehidupan manusia dengan fasilitas-fasilitasnya.

Pada pembuatan bangunan-bangunan, permukaan tanah selalu dibuat rata mendatar, sehingga pada tanah yang

jagung, kacang tanah, kedelai. Namun demikian tanaman tebu dan ubi kayu juga banyak ditanam. Komposisi tata guna lahan untuk Sub DAS Lesti tertera pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. KOMPOSISI TATA GUNA LAHAN pada Sub DAS LESTI

KODE	TATA GUNA LAHAN	LUAS	
		ha	%
S-1	- persawahan dataran rendah (terutama padi sawah)	1,918.13	4.85
S-2	- persawahan dataran tinggi (terutama padi sawah dan polowijo)	362.57	0.92
H-1	- hutan	9,402.34	23.77
T-1	- tegal tanaman semusim dan tanaman tahunan	7,928.66	20.04
T-2	- tanaman keras	644.45	1.63
D	- lahan perkampungan dan perladangan	5,812.87	14.69
H-3	- semak belukar dan hutan sekunder	330.99	0.84
H-2	- hutan dataran tinggi	541.52	1.37
K-1	- kebun campuran : kelapa, kopi dan coklat	7,960.24	20.12
K-2	- kebun cengkeh dengan rumput penutup tanah	886.55	2.24
K-3	- perkebunan kopi, coklat dan lamtoro sebagai tanaman naungan	1,276.02	3.23
S-3	- sawah 2x padi + sawah dengan tanaman tebu	899.41	2.27
T-3	- tanaman keras, tanaman semusim dan tanaman tahunan	1,594.14	4.03
T o t a l		39,557.89	100.00

II.2.1.4. Faktor Pengelolaan Tanah dan Tanaman Penutup Tanah (C)

Vegetasi mempengaruhi erosi karena vegetasi melindungi tanah terhadap kerusakan oleh butir-butir hujan. Pengaruh vegetasi tersebut berbeda-beda tergantung pada jenis tanaman, perakaran, tinggi tanaman, tajuk dan tingkat pertumbuhan serta musim. Menurut Arsyad (1983), bahwa dengan adanya vegetasi penutup tanah yang baik serta rumput yang tebal dan hutan yang lebat dapat menghilangkan pengaruh topografi terhadap erosi. Tanaman yang menutup permukaan tanah secara rapat tidak saja memperlambat limpasan, tetapi juga menghambat pengangkutan partikel tanah.

Namun demikian, dari keterangan di atas faktor manusialah yang menentukan apakah tanah yang diusahakan akan rusak/tidak berproduksi atau justru menjadi baik. Perbuatan manusia yang mengelola tanahnya dengan cara yang salah telah menyebabkan intensitas erosi semakin meningkat, misalnya, pembukaan hutan untuk tempat tanaman, perladangan dan lain sebagainya.

Jadi pengaruh pengelolaan tanah dan tanaman (C) tidak dapat dievaluasi secara terpisah karena antara

keduanya terdapat hubungan yang saling terkait.

Nilai faktor C adalah besaran yang menunjukkan perbandingan antara tanah yang hilang akibat erosi per satuan luas (ton/ha) dari lahan yang ditanami dengan sistem pengelolaan tertentu, dengan tanah yang hilang dari petak baku pada tempat yang berdekatan.

Berdasarkan hasil penelitian pada beberapa tempat di Indonesia maka telah didapatkan nilai C dari beberapa sistem pengelolaan tanah dan tanaman, seperti yang tercantum dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Nilai C dari berbagai macam
Tata Guna Lahan

No	Tata Guna Lahan	Nilai C
1.	Tanah terbuka/tanpa tanaman	1.0
2.	Sawah	0.01
3.	Tanaman tegalan (tidak dispesifikasi)	0.7
4.	Kebun campuran :	
	- kerapatan tinggi	0.1
	- kerapatan sedang	0.3
	- kerapatan rendah	0.5
5.	Perladangan	0.4
6.	Hutan alam :	
	- banyak serasah	0.001
	- sedikit serasah	0.005
7.	Hutan produksi :	
	- tebang habis	0.5
	- tebang pilih	0.2
8.	Semak belukar/rumput	0.3

Sumber : Sitanala Arsyad,
Konservasi Tanah dan Air, 1989

II.2.1.5. Faktor Teknik Konservasi (P)

Konservasi tanah berarti bagaimana cara kita menggunakan tanah agar dapat memberikan manfaat yang optimum bagi kepentingan umat manusia untuk jangka waktu yang berkelanjutan.

Karena setiap tanah mempunyai sifat dan kemampuan yang berbeda, maka agar dapat berfungsi optimum berkelanjutan, tanah-tanah tersebut harus digunakan sesuai dengan kemampuannya. Sistem bertani pada lahan sawah merupakan contoh bagaimana konservasi tanah dapat berfungsi sangat efektif dalam mempertahankan kesuburan tanah, sehingga tidak terjadi/kecil sekali terjadi penurunan produksi.

Beberapa teknik konservasi tanah yang sudah secara luas diterapkan antara lain pengolahan tanah menurut kontur, pemakaian teras dan guludan.

Beberapa nilai P yang telah didapatkan melalui penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Nilai faktor teknik konservasi (P) adalah nilai yang menunjukkan perbandingan antara tanah yang hilang akibat erosi per satuan luas (ton / ha) pada daerah yang menggunakan suatu teknik konservasi tanah tertentu, dengan tanah yang hilang dari petak baku pada tempat yang berdekatan.

Tabel 2.6. Nilai P pada beberapa Teknik Konservasi

No.	Jenis Teknik Konservasi	Nilai P
1.	Teras bangku :	
	- konstruksi baik	0.04
	- konstruksi sedang	0.15
	- konstruksi kurang baik	0.35
2.	Pengolahan tanah dan penanaman menurut garis kontur, pada lereng :	
	- kemiringan 0 - 8 %	0.50
	- kemiringan 9 - 20 %	0.75
	- kemiringan > 20 %	0.90
3.	Penanaman rumput dalam strip :	
	- pertumbuhan baik	0.04
	- pertumbuhan tidak baik	0.40
4.	Penanaman tanaman penutup tanah rendah pada tanaman perkebunan :	
	- kerapatan tinggi	0.10
	- kerapatan sedang	0.50

Sumber : Naik Sinukaban,
Konservasi Tanah dan Air, 1985

Disamping teknik konservasi di atas atau yang biasa dikenal dengan metode teknik konservasi teknik sipil, terdapat teknik konservasi lainnya yang disebut konservasi vegetatif. Kegiatan konservasi tanah dengan menggunakan metode vegetatif didasarkan pada fungsi tanaman dalam melindungi permukaan tanah dari pukulan air hujan dan memperkuat struktur tanah melalui akar-akarnya.

Dari penelitian beberapa pakar, menunjukkan bahwa terdapat hubungan faktor C dan faktor P, seperti yang tercantum pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7. Nilai CP dari beberapa macam penggunaan lahan

No.	Penggunaan Lahan	Nilai CP
1.	Hutan, tidak terganggu	0.01
2.	Hutan, tanpa tumbuhan rendah	0.03
3.	Semak belukar tidak terganggu	0.01
4.	Kebun campuran	0.07
5.	Pekarangan	0.20
6.	Perkebunan tanaman keras, dengan tanaman penutup tanah	0.01
7.	Rumput, menutup tanah dengan baik	0.01
8.	Tanaman tegalan, campuran	0.43
9.	Pertanian umum, dengan	
	- memakai mulsa	0.14
	- teras bangku	0.04
	- guludan	0.14

Sumber : Naik Sinukaban,
Konservasi Tanah dan Air, 1989

³ Pusat Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan lingkungan,

II.2.2. SEDIMENT DELIVERY RATIO (SDR)

Tidak semua sedimen sebagai hasil erosi yang terjadi di lahan atas mampu mencapai aliran sungai. Sebagian sedimen hasil erosi di lahan yang tidak dapat mencapai aliran sungai pada waktu yang bersamaan akan mengendap di sepanjang jalur yang dilaluinya.

Perbandingan antara volume sedimen hasil erosi yang mampu mencapai aliran sungai dengan volume sedimen yang mengendap pada lahan di atasnya disebut *Sediment Delivery Ratio (SDR)*.

Nilai SDR ini banyak tergantung pada luas DAS, kemiringan lereng rata-rata DAS dan tingkat kekasaran permukaan DAS yang erat hubungannya dengan pola penggunaan lahan di dalam DAS yang bersangkutan. Keadaan ini dapat dirumuskan dalam suatu hubungan fungsional seperti berikut ini : ⁹

$$SDR = \frac{s (1 - \rho_0 \cdot A^{\rho_1})}{2 (s + 50 \cdot n)} + \rho_0 \cdot A^{\rho_1} \quad (2.4)$$

dimana,

SDR = angka perbandingan sedimen suatu sub DAS,

$$0 < SDR < 1.$$

A = luas sub DAS, ha

s = kemiringan lereng rata-rata permukaan sub DAS, %

⁹ Pusat Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan lingkungan, Lembaga Penelitian IPB, Penelitian Hidro-orologi di Proyek Bendungan Karangates.

n = koefisien kekasaran Manning, untuk Sub DAS
Lesti-Genteng diperkirakan rata-rata 0,017

(Hidrolika Saluran Terbuka)

ρ_0 dan ρ_1 adalah ketetapan yang masing-masing bernilai
sebagai berikut :

$$\rho_0 = 0,8683216132$$

$$\rho_1 = - 0,2018621338$$

II.2.3. Angkutan Sedimen

Berdasarkan mekanisme angkutan, sedimen yang ada di sungai dapat digolongkan dalam 3 (tiga) macam angkutan sedimen, yaitu :

- a. Muatan dasar (*bed load*), adalah material dasar sungai yang bergerak secara menggeser, menggelinding dan meloncat-loncat akibat gaya seret (*tractive force*) dari aliran air sungai.
- b. Muatan melayang (*suspended load*), adalah material yang senantiasa bergerak melayang dalam aliran air dan tidak berpengaruh pada perubahan dasar sungai, tetapi dapat mengendap di dasar waduk atau muara sungai. Material ini terdiri dari butiran halus dengan ukuran ≤ 0.10 mm.
- c. Muatan kikisan (*wash load*), adalah material halus ($\leq 50 \mu\text{m}$) yang ditransport dari daerah erosi sampai ke muara tanpa mengendap pada dasar sungai, jadi material tersebut melayang pada permukaan air.

Untuk menghitung jumlah volume sedimen transport yang terangkut aliran suatu sungai, pada umumnya yang ditinjau hanya muatan dasar (*bed load*) dan muatan layang (*suspended load*) saja, sedangkan muatan kikisan (*wash load*) sudah termasuk dalam muatan layang (*suspended load*).



II.2.3.1. Analisa Suspended Load

Suspended load dianalisa berdasarkan pada anggapan bahwa partikel-partikel yang melayang diangkut langsung bersama aliran dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan aliran. Oleh karena itu debit sedimen (Q_s) dapat dinyatakan sebagai hasil perkalian antara debit aliran (Q_w) dengan kadar suspensi (C), atau secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$Q_s = k \times c \times Q_w$$

dimana,

Q_s = debit sedimen, ton/hari

Q_w = debit aliran sungai, m^3/dt

c = konsentrasi sedimen, mg/l

k = konstanta pengubah satuan, 0.0864

Untuk membuat korelasi antara debit sedimen dengan debit aliran sungai, lebih dahulu harus dihitung besarnya debit sedimen untuk tiap-tiap kadar suspensi (didapat dari analisis laboratorium) dengan satuan ton per hari.

Persamaan korelasi yang dimaksud dihitung dengan metode statistik (analisa garis regresi). Dalam hal ini dipilih analisa *Power Regression*, seperti berikut ini :

$$Y = a X^b$$

Untuk $\ln Q_w = X$ dan $\ln Q_s = Y$

$$b = \frac{m \cdot \sum X \cdot Y - \sum X \cdot \sum Y}{m \cdot \sum X^2 - [\sum X]^2}$$

$$a = \frac{[\sum Y - b \cdot \sum X]}{m}$$

Sedangkan tingkat korelasi yang dinyatakan sebagai koefisien korelasi dirumuskan sebagai berikut :

$$r = \frac{m \cdot \sum XY - \sum X \cdot \sum Y}{[(m \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2) \cdot (m \cdot \sum Y^2 - (\sum Y)^2)]^{0.5}}$$

dimana,

a, b = konstanta yang dicari

m = banyaknya data

r = koefisien korelasi

Untuk menguji korelasi tersebut di atas, ditetapkan test hipotesa distribusi t dengan ketentuan sebagai berikut :

Hipotesa H_0 yang berarti :

tidak ada korelasi, $r = 0$

$t = t(\alpha, v)$ dimana $v = m - 2$

α = selang kepercayaan, diambil 5%

- Hipotesa H_1 yang berarti :

ada korelasi, $r > 0$

$$t' = \frac{r(m-2)^{0.5}}{(1+r^2)^{0.5}}$$

Jika $t' > t$, maka H_0 ditolak atau H_1 diterima (ada korelasi)

Jika $t' < t$, maka H_0 diterima atau H_1 ditolak (tidak ada korelasi)

Kualitas korelasi dibedakan menjadi 3 (tiga) kategori, yaitu :

- korelasi lemah, jika $r = 0.00 - 0.33$
- korelasi sedang, jika $r = 0.33 - 0.66$
- korelasi kuat, jika $r = 0.66 - 0.99$

Dengan bantuan metode statistik tersebut, maka persamaan angkutan sedimen yang dihasilkan diharapkan mampu untuk mendekati jumlah angkutan sedimen yang terjadi di sungai.

II.2.3.2. Analisa Bed Load

Analisa Bed Load pada suatu sungai dapat ditentukan dengan menggunakan banyak metode, antara lain dengan metode :

- Meyer - Peter - Mueller (MPM)
- Engelund and Hansen
- Einstein
- Acker and White

Dengan mempertimbangkan beberapa hal terutama tersedianya data yang ada, maka analisa bed load pada Kali Lesti dihitung dengan cara Engelund and Hansen. Perumusan yang dipakai adalah sebagai berikut :

$$C = \frac{\bar{U}}{\sqrt{R \cdot I}}$$

$$\mu = \left[\frac{C^2}{g} \right]^{0.4}$$

$$d = d_{50}$$

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$$

$$X = \frac{S}{d^{1.5} \sqrt{\Delta} \cdot g}$$

$$Y = \frac{\Delta \cdot d}{\mu \cdot h \cdot I}$$

$$X = 0.084 \cdot Y^{-2.5}$$

dimana,

C = faktor koefisien Chezy, $m^{0.5}/dt$

h = kedalaman aliran, m

d_{50} = diameter partikel dimana 50% dari campuran sedimen adalah sama atau lebih kecil dari ukuran tersebut, acapkali dianggap mewakili diameter seluruh campuran sedimen

μ = faktor Ripple

ρ_s = rapat massa sedimen, kg/m^3

ρ = rapat massa air, $1000 kg/m^3$

I = kemiringan sungai

X = parameter angkutan

Y = parameter aliran

Δ = kerapatan relatif

g = kecepatan gravitasi, $9.81 m/dt^2$

S = kecepatan aliran rata-rata, m/dt

S = angkutan sedimen dalam bulk volume (termasuk

B A B I I I

S E D I M E N T R A N S P O R T

III.1. Sumber Material Sedimen

III.1.1. Perhitungan Indeks Erosivitas Hujan (EIso)

Seperti disebutkan di depan bahwa kemampuan hujan yang dapat menyebabkan terjadinya erosi disebut erosivitas hujan.

Dari rumus (2-3) dapat dihitung besarnya harga indeks erosivitas hujan untuk masing-masing stasiun, perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 3.1.4. - 3.1.6.

Sedangkan untuk mendapatkan harga-harga R_b (curah hujan bulanan rata-rata), N (jumlah hari hujan) dan R_m (curah hujan maksimum rata-rata) ada pada Tabel 3.1.1 - 3.1.3.

III.1.2. Perhitungan erosi lahan

Untuk memperkirakan laju erosi lahan yang terjadi pada suatu daerah aliran sungai dilakukan cara penumpang tindihan peta-peta yang berkaitan, seperti peta distribusi curah hujan, peta distribusi tanah, peta tata guna lahan dan topografi.

Dengan demikian akan diperoleh daerah-daerah tumpang tindihan yang mempunyai gabungan :

- sifat-sifat curah hujan (indeks erosivitas hujan)
- tanah (erodibilitas tanah)
- topografi (faktor panjang dan kemiringan lereng lapangan)
- dan tata guna lahan (faktor pengelolaan dan tanaman penutup tanah).

Jika suatu daerah tumpang tindihan yang mempunyai sifat tanah tertentu jatuh pada suatu pola penggunaan lahan, maka daerah tumpang tindihan tersebut tidak terbagi menjadi bagian- bagian yang lebih kecil. Namun, jika ternyata ada daerah tumpang tindihan yang mempunyai sifat tanah tertentu tadi jatuh pada dua macam pola penggunaan lahan atau barang kali lebih, maka daerah tumpang tindihan tersebut akan terbagi menjadi bagian yang lebih kecil.

Demikian juga halnya dengan peta-peta tumpang tindihan yang lain. Setiap bagian terkecil tersebut merupakan daerah yang masing-masing mempunyai laju erosi tertentu.

Perhitungannya seperti tertera pada Tabel 3.2.1.

TABEL 3.1.1. CURAH HUJAN RATA-RATA BULANAN (R_b), CURAH HUJAN MAKSIMUM (R_m) dan JUMLAH HARI HUJAN (N) STASIUN GONDANGLEGI

BULAN -	JANUARI			FEBRUARI			MARET			APRIL			MEI			JUNI		
TAHUN	R_b mm	R_m mm	N hr	R_b mm	R_m mm	N hr	R_b mm	R_m mm	N hr	R_b mm	R_m mm	N hr	R_b mm	R_m mm	N hr	R_b mm	R_m mm	N hr
1951	137	41	14	95	63	22	98	68	13	143	58	6	58	16	4	80	39	9
1952	137	41	14	81	63	24	133	87	20	77	31	6	47	9	5	53	13	2
1953	117	61	12	92	24	10	144	44	15	206	100	9	102	60	17	293	39	1
1954	112	59	22	94	34	17	76	25	15	79	47	14	147	58	14	74	50	9
1955	102	51	16	165	75	17	105	59	13	146	73	16	115	98	10	113	51	14
1956	128	64	15	64	29	14	122	30	8	21	6	6	107	20	7	248	90	6
1957	181	73	14	120	60	16	194	75	19	215	40	4	59	15	5	15	2	1
1958	157	51	13	95	30	15	159	92	16	333	180	9	271	67	5	164	34	5
1959	143	54	11	177	81	16	135	56	20	226	101	6	185	101	10	92	41	9
1960	99	80	24	95	46	13	162	76	16	134	39	12	124	77	15	200	41	3
1961	176	92	20	111	72	17	119	40	10	107	43	12	133	56	6	0	0	0
1962	136	53	21	71	45	18	102	27	15	81	25	17	143	35	6	26	5	6
1963	98	36	23	152	120	18	83	31	25	83	35	9	0	0	0	0	0	0
1964	93	39	10	68	79	18	239	126	19	129	48	14	86	47	10	68	31	6
1965	147	44	17	112	76	17	107	70	15	138	64	7	75	16	4	0	0	0
1966	202	53	15	216	84	9	148	52	12	186	72	12	105	17	2	0	0	0
1967	127	58	19	111	55	15	189	73	7	229	82	10	31	4	1	0	0	0
1968	175	94	19	92	35	12	236	55	19	155	71	15	276	95	14	218	71	14
1969	350	135	13	311	89	5	292	83	19	230	52	12	430	69	2	124	30	2
1970	319	93	16	249	113	12	252	114	14	203	62	15	215	53	10	105	46	7
1971	123	42	14	79	27	10	167	54	18	135	29	2	202	72	6	375	96	2
1972	168	62	15	137	65	11	161	74	15	102	36	11	119	90	11	0	0	0
1973	90	41	24	113	57	15	132	70	18	131	70	16	103	45	19	65	25	8
1974	22	13	12	132	72	17	97	36	15	186	119	12	138	52	14	131	31	6
1975	127	50	22	161	90	18	199	62	10	90	38	15	104	48	15	90	12	1
1976	105	57	14	85	53	12	116	40	14	51	22	5	233	30	1	0	0	0
1977	194	100	13	102	42	19	112	50	16	104	50	8	322	57	2	140	38	5
1978	108	36	23	83	25	12	245	88	13	264	98	7	189	93	9	92	72	17
1979	121	105	16	118	80	12	153	48	17	105	41	14	159	62	12	93	35	7
1980	126	35	17	91	29	13	95	40	7	143	73	14	101	13	1	0	0	0
1981	187	103	9	151	78	9	103	43	8	302	107	7	174	77	10	50	14	9
RATA-21	145.5	61.8	16.4	123.2	61.0	14.6	151.4	60.9	14.9	152.6	61.7	10.4	146.8	50.1	8.0	93.7	29.2	4.8

TABEL 3.1.1.1. CURAH HUJAN RATA-RATA BULANAN (Rb) DAN CURAH HUJAN MAKSIMUM (Rm)
STASIUN GONDANGLEGI (Lanjut)

BULAN	JULI				AGUSTUS				SEPTEMBER				OKTOBER				NOVEMBER				DESEMBER			
TAHUN	Rb mm	Rr mm	N hr	N hr	Rb mm	Rr mm	N hr	N hr	Rb mm	Rr mm	N hr	N hr	Rb mm	Rr mm	N hr	N hr	Rb mm	Rr mm	N hr	N hr	Rb mm	Rr mm	N hr	N hr
1951	174	44	2	2	65	20	2	4	43	17	4	4	8	0	0	0	113	46	4	91	58	24		
1952	178	23	1	1	8	1	1	14	45	15	14	14	112	99	24	24	138	99	21	148	69	16		
1953	126	29	2	2	16	2	1	0	0	0	0	0	65	23	5	5	99	34	9	141	40	18		
1954	16	4	3	3	138	44	5	5	263	79	3	3	160	66	8	8	131	61	21	186	123	16		
1955	175	127	15	7	36	10	7	7	124	31	2	2	155	61	13	13	113	59	23	178	111	13		
1956	115	46	12	6	142	44	6	3	62	16	3	3	119	49	5	5	97	34	12	190	67	14		
1957	159	78	14	12	66	12	2	0	0	0	0	0	225	29	1	1	72	20	5	133	36	15		
1958	182	66	7	4	26	4	3	4	20	4	3	3	83	27	8	8	115	34	9	213	103	18		
1959	90	33	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	37	10	214	56	25		
1960	23	3	1	1	47	6	1	0	0	0	0	0	72	20	3	3	46	14	20	168	50	12		
1961	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	209	27	1	1	98	45	8	126	43	18		
1962	43	13	3	2	124	29	2	2	0	0	0	0	144	56	11	11	86	34	12	202	181	21		
1963	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1	1	1	26	7	14	101	123	17		
1964	16	3	2	2	58	12	2	1	104	35	8	8	198	78	18	18	114	96	14	116	60	17		
1965	97	13	2	1	0	0	0	0	15	2	1	1	0	0	0	0	145	42	11	174	62	12		
1966	0	0	0	0	16	2	1	1	15	2	1	1	159	39	7	7	166	69	11	203	90	24		
1967	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	419	54	1	1	152	76	7	179	82	20		
1968	252	90	8	4	291	95	4	4	143	19	1	1	275	68	6	6	212	76	12	274	90	17		
1969	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	213	40	2	2	216	54	6	171	67	14		
1970	182	44	2	2	0	0	0	0	83	25	4	4	191	52	5	5	209	60	13	222	78	16		
1971	15	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	181	76	10	10	76	35	10	187	68	17		
1972	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74	31	12	125	48	17		
1973	31	4	1	1	167	73	4	4	50	29	13	13	43	14	6	6	59	23	15	95	54	17		
1974	81	11	2	2	67	16	4	4	80	25	6	6	111	31	18	18	101	60	19	174	62	13		
1975	140	30	2	2	62	8	1	1	278	76	9	9	129	89	15	15	104	51	18	147	72	16		
1976	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	19	4	4	134	93	16	122	27	5		
1977	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	9	2	2	68	15	6	98	56	17		
1978	113	39	10	6	59	18	6	6	100	41	11	11	84	25	10	10	169	56	15	157	85	14		
1979	0	0	0	0	0	0	0	0	15	2	1	1	88	15	3	3	162	65	6	158	75	19		
1980	0	0	0	0	116	15	1	1	173	23	1	1	120	22	4	4	187	61	12	179	105	16		
1981	167	61	10	10	98	17	3	3	215	62	4	4	188	60	10	10	242	80	15	226	76	9		
RATA-21	76.7	24.6	3.3	3.3	52.3	13.8	1.8	1.8	58.8	16.2	2.9	2.9	124.6	37.1	6.5	6.5	123.1	52.6	12.2	164.5	77.5	16.5		

TABEL 3.1.2. CURAH HUJAN RATA-RATA BULANAN (Rb), CURAH HUJAN MAKSIMUM (Rm) DAN JUMLAH HARI HUJAN (N)
STASIUN DAMPIT

BULAN -	JANUARI			FEBRUARI			MARET			APRIL			MEI			JUNI		
TAKUN	Rb mm	Rm mm	N hr	Rb mm	Rm mm	N hr	Rb mm	Rm mm	N hr	Rb mm	Rm mm	N hr	Rb mm	Rm mm	N hr	Rb mm	Rm mm	N hr
1951	300	100	12	303	175	19	127	29	7	105	27	4	276	125	5	349	80	8
1952	300	100	12	256	105	15	446	65	2	229	61	4	164	65	7	143	26	3
1953	151	50	14	192	75	10	146	53	15	316	70	8	248	95	15	38	5	1
1954	150	74	21	58	47	15	220	184	15	704	284	12	260	120	11	676	230	7
1955	99	30	12	98	28	15	171	66	11	146	43	10	72	27	11	107	32	15
1956	136	80	18	95	56	14	68	12	6	101	33	7	75	22	9	65	21	6
1957	120	62	20	127	74	15	192	101	15	85	25	3	53	21	6	8	1	1
1958	117	30	7	116	40	7	165	66	15	98	36	6	287	105	6	237	128	6
1959	114	50	11	139	69	13	164	67	17	105	35	6	167	45	5	122	45	7
1960	144	54	18	83	50	16	122	47	15	127	50	12	115	31	11	338	68	3
1961	191	75	18	171	106	10	233	73	7	185	69	8	81	34	8	0	0	0
1962	180	57	14	99	34	15	268	92	15	259	91	12	0	0	0	53	17	5
1963	103	33	13	149	71	11	205	73	19	125	49	6	0	0	0	0	0	0
1964	0	0	0	118	59	13	140	45	20	314	163	9	149	68	10	53	12	4
1965	125	45	19	133	39	16	107	20	5	207	40	5	105	32	4	0	0	0
1966	132	60	15	158	61	14	136	61	17	132	49	11	47	8	4	189	54	5
1967	157	128	20	260	64	6	98	29	6	80	26	8	0	0	0	0	0	0
1968	199	65	8	83	43	17	129	50	18	228	104	13	215	90	12	110	50	13
1969	128	49	17	142	45	6	134	61	18	112	47	13	240	45	2	158	25	2
1970	163	64	18	132	80	13	124	37	11	134	45	10	136	68	13	94	21	4
1971	118	61	15	90	48	12	138	50	22	62	30	11	84	51	8	66	15	5
1972	126	35	17	91	62	21	140	85	17	89	40	11	138	40	5	0	0	0
1973	133	62	21	193	65	18	106	48	21	119	60	18	91	32	14	54	19	8
1974	127	47	17	102	43	19	68	39	16	99	30	7	299	53	5	0	0	0
1975	256	68	15	152	82	16	184	69	18	158	45	12	60	15	4	15	2	1
1976	129	50	15	163	65	11	124	45	11	145	32	3	78	10	1	0	0	0
1977	265	109	17	180	88	17	260	160	13	259	89	9	333	43	1	26	10	5
1978	119	53	18	136	56	15	227	66	21	168	68	12	230	108	14	161	127	19
1979	129	55	20	98	50	11	167	85	14	132	67	8	128	65	14	203	76	9
1980	78	18	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1981	217	85	14	136	83	15	88	33	11	134	55	8	371	118	11	128	49	6
RATA-21	151.8	59.6	14.9	137.1	63.3	13.4	158.1	61.6	13.5	166.1	60.7	8.6	145.2	49.5	7.0	109.3	35.9	4.6

TABEL 3-1.2. CURAH HUJAN RATA-RATA BULANAN < Rb >, CURAH HUJAN MAKSIMUM < Rm > DAN JUMLAH HARI HUJAN < N > STASIUN DAMPIK (lanjutan)

BULAN -	JULI			AGUSTUS			SEPTEMBER			OKTOBER			NOPEMBER			DESEMBER		
TAHUN :	Rb	Rm	N	Rb	Rm	N	Rb	Rm	N	Rb	Rm	N	Rb	Rm	N	Rb	Rm	N
mm	mm	mm	hr	mm	mm	hr	mm	mm	hr	mm	mm	hr	mm	mm	hr	mm	mm	hr
1951 :	39	5	1	451	76	7	113	25	5	39	5	1	188	25	1	200	100	26
1952 :	16	3	3	151	35	2	404	100	11	202	78	12	152	60	20	324	170	21
1953 :	116	29	2	349	48	1	0	0	0	178	23	1	62	18	6	123	53	13
1954 :	273	68	5	213	30	2	53	9	2	117	33	9	141	70	21	112	38	22
1955 :	206	75	19	153	114	10	38	9	5	212	65	13	149	126	20	219	85	12
1956 :	137	97	14	195	59	7	38	5	1	74	20	6	141	59	9	173	79	11
1957 :	195	78	13	60	14	4	38	5	1	0	0	0	177	39	3	192	53	11
1958 :	122	42	7	152	68	6	0	0	1	202	113	6	61	26	8	226	109	17
1959 :	94	20	5	0	0	0	0	0	0	54	7	1	105	42	7	153	75	23
1960 :	54	7	1	62	8	2	105	14	1	87	41	7	133	87	12	137	46	10
1961 :	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	2	2	119	36	6	129	41	11
1962 :	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99	38	13	138	84	13	239	180	10
1963 :	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1964 :	0	0	0	116	20	2	0	0	0	246	68	12	170	52	6	99	40	12
1965 :	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103	59	6	119	48	17
1966 :	0	0	0	0	0	0	50	13	3	67	25	10	178	72	14	147	78	21
1967 :	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1186	153	1	162	46	3	208	66	19
1968 :	161	62	12	106	29	4	30	4	2	152	101	9	211	73	10	233	75	18
1969 :	78	10	1	0	0	0	0	0	0	209	29	2	110	26	4	162	74	14
1970 :	701	166	2	0	0	0	132	31	9	87	20	7	96	40	12	115	120	18
1971 :	23	5	2	0	0	0	68	9	2	62	20	6	33	8	5	159	55	19
1972 :	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	10	7	84	31	15
1973 :	188	109	7	0	0	0	268	62	10	84	38	8	164	81	15	97	30	17
1974 :	0	0	0	78	16	2	143	32	2	208	75	15	167	67	9	163	20	4
1975 :	132	19	2	0	0	0	238	93	12	266	74	10	161	60	12	177	115	15
1976 :	0	0	0	0	0	0	0	0	0	240	115	5	404	174	13	192	49	9
1977 :	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	299	90	5	276	120	16
1978 :	191	76	13	105	36	7	96	44	7	88	36	7	192	65	14	111	67	18
1979 :	0	0	0	28	6	3	75	10	1	97	15	2	57	21	3	0	0	0
1980 :	0	0	0	0	0	0	0	0	0	142	88	8	176	65	11	152	45	13
1981 :	245	143	12	60	30	8	122	35	4	116	34	5	196	70	15	128	49	14
RATA-21	95.5	32.7	9.9	73.5	19.0	2.2	64.9	16.8	2.4	146.0	43.1	5.7	144.6	56.5	9.5	156.5	68.7	14.5

TABEL 3.1.3. CURAH HUJAN RATA-RATA BULANAN < Rb >, CURAH HUJAN MAKSIMUM < Rm > dan JUMLAH HARI HUJAN < N >
STASIUN PONGKOSUNTO

BULAN	JANUARI			FEBRUARI			MARET			APRIL			MEI			JUNI		
TAHUN	Rb mm	N hr	Rm mm	Rb mm	N hr	Rm mm	Rb mm	N hr	Rm mm	Rb mm	N hr	Rm mm	Rb mm	N hr	Rm mm	Rb mm	N hr	Rm mm
1951	160	116	24	159	127	16	109	10	109	29	6	85	20	2	35	10	8	
1952	128	68	24	189	83	21	124	45	51	26	5	64	22	7	8	1	1	
1953	136	76	17	106	37	11	114	45	140	58	16	112	32	9	0	0	0	
1954	155	57	24	175	70	19	142	76	89	34	17	76	25	15	78	26	7	
1955	104	46	15	109	46	16	137	70	165	60	14	82	49	16	86	29	6	
1956	191	118	18	109	60	17	124	88	94	29	6	79	26	7	93	23	7	
1957	144	88	22	197	116	19	135	37	137	35	9	111	31	6	0	0	0	
1958	130	62	16	155	57	18	135	79	143	67	15	62	20	8	79	22	7	
1959	171	46	17	113	47	13	140	46	166	57	6	110	50	9	59	26	7	
1960	98	48	23	95	37	22	136	62	170	64	13	153	107	16	185	33	2	
1961	219	86	17	158	54	12	172	58	92	26	13	183	83	6	0	0	0	
1962	213	114	20	159	61	13	133	51	95	34	19	95	24	6	45	7	4	
1963	133	73	25	197	89	15	140	67	83	23	7	101	19	3	15	2	1	
1964	168	90	13	127	53	11	140	67	76	39	11	32	14	9	275	41	3	
1965	126	53	14	165	46	13	119	46	115	33	8	240	58	3	0	0	0	
1966	184	58	16	152	65	17	184	73	174	45	7	103	56	6	263	42	2	
1967	246	136	17	178	77	12	99	46	254	66	7	91	16	4	0	0	0	
1968	175	63	17	125	64	18	138	50	214	58	8	114	54	15	151	50	13	
1969	215	85	18	162	120	17	233	141	122	34	11	141	37	5	92	17	3	
1970	186	86	17	216	89	13	136	55	175	49	8	215	39	4	173	45	4	
1971	175	122	22	133	58	16	118	53	101	19	6	149	59	8	140	32	5	
1972	132	67	21	77	38	15	109	70	107	29	5	156	44	7	0	0	0	
1973	173	77	16	88	36	16	149	90	170	63	16	164	58	21	151	73	6	
1974	131	25	12	127	53	15	109	42	101	34	11	177	66	10	90	13	2	
1975	180	43	15	136	39	12	151	47	115	54	16	158	48	10	240	32	1	
1976	101	40	16	132	51	12	194	86	188	37	2	97	18	14	0	0	0	
1977	146	36	12	65	39	19	126	66	152	49	7	85	20	5	65	15	6	
1978	103	53	28	84	52	21	155	74	83	30	13	88	59	18	107	51	19	
1979	173	89	21	105	50	22	126	72	148	59	10	122	61	12	65	24	8	
1980	150	73	17	100	47	13	103	34	131	70	15	84	22	5	0	0	0	
1981	160	88	18	106	51	15	85	34	152	52	8	98	52	6	76	15	6	
RATA-2	159.3	72.6	18.5	136.1	61.7	15.9	133.9	60.7	133.6	43.9	10.2	117.0	41.5	8.5	82.2	20.3	4.1	

TABEL 3.1.3. CURAH HUJAN RATA-RATA BULANAN < RB >, CURAH HUJAN MAKSIMUM < Rm > dan JUMLAH HARI HUJAN < N >
STASIUN PONCOKUSUNO < Lanjutkan >

BULAN - TAHUN	JULI			AGUSTUS			SEPTEMBER			OKTOBER			NOPEMBER			DESEMBER		
	Rb mm	Rm mm	N hr	Rb mm	Rm mm	N hr	Rb mm	Rm mm	N hr	Rb mm	Rm mm	N hr	Rb mm	Rm mm	N hr	Rb mm	Rm mm	N hr
1951	159	27	2	31	4	1	30	7	3	186	24	1	243	64	5	153	53	22
1952	0	0	0	16	3	3	15	2	1	91	57	12	145	63	26	115	51	15
1953	105	27	4	0	0	0	30	4	1	0	0	0	126	64	8	171	68	17
1954	126	51	5	147	47	5	75	15	6	146	57	9	157	134	22	171	66	21
1955	182	89	14	76	20	6	131	40	6	140	61	7	125	48	21	121	66	14
1956	65	14	8	52	16	13	110	39	4	71	26	8	90	52	15	174	80	18
1957	109	38	13	97	24	2	0	0	0	0	0	0	89	35	10	146	109	22
1958	112	31	8	62	12	6	47	9	4	150	36	3	99	46	14	192	100	23
1959	54	7	1	0	0	0	0	0	0	62	19	5	63	21	13	167	60	28
1960	62	9	2	70	9	1	0	0	0	99	22	6	83	33	15	209	48	13
1961	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	2	1	70	16	12	183	80	16
1962	52	18	4	112	21	2	0	0	0	71	20	6	209	115	10	160	127	22
1963	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	13	6	184	66	17
1964	0	0	0	0	0	0	0	0	0	191	53	10	175	62	8	184	70	13
1965	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62	8	1	117	42	9	195	74	17
1966	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174	59	5	134	68	15	130	38	7
1967	0	0	0	0	0	0	45	6	1	59	14	9	0	0	0	63	25	19
1968	114	40	14	41	8	3	0	0	0	64	17	3	128	39	11	160	62	19
1969	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97	28	6	96	24	8	136	61	16
1970	109	14	1	0	0	0	83	15	2	101	22	5	105	53	18	121	52	16
1971	26	4	3	39	5	1	30	5	3	146	33	10	117	56	15	187	69	23
1972	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	152	44	8	140	51	16
1973	219	56	3	132	17	1	113	33	9	121	23	6	137	48	18	143	41	13
1974	35	5	2	78	13	4	79	18	9	126	32	13	176	49	10	169	52	11
1975	93	12	1	136	19	2	170	80	13	186	106	19	161	67	21	180	69	20
1976	0	0	0	0	0	0	113	19	2	75	19	9	128	47	17	177	46	9
1977	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	6	5	153	62	24
1978	117	36	7	31	4	1	153	41	5	128	70	9	146	42	16	186	68	22
1979	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	25	7	161	72	9	274	114	15
1980	0	0	0	16	2	1	60	11	2	74	12	2	138	56	17	206	105	19
1981	57	20	10	0	0	0	47	10	4	63	20	9	112	67	16	140	94	21
RATA-2:	58.0	16.1	3.3	36.7	7.2	1.7	42.0	11.4	2.4	89.2	27.9	6.1	120.7	50.2	12.9	164.2	68.7	17.7

Tabel 3.1.4. Perhitungan Indeks Erosivitas Hujan
Stasiun GONGANGLEGI

Bulan	Rb cm	Ra cm	N hr	Rb^1.21	N^1.47	Ra^0.53	EI30
Januari	14.5	6.2	16.4	25.52	0.27	2.63	110.25
Februari	12.3	6.1	14.6	20.88	0.28	2.61	94.47
Maret	15.1	6.1	14.9	26.78	0.28	2.61	120.06
April	15.3	6.2	10.4	27.05	0.33	2.62	144.49
Mei	14.7	5.0	8.0	25.81	0.38	2.35	139.84
Juni	9.4	2.9	4.8	14.99	0.48	1.77	77.43
Juli	7.7	2.5	3.3	11.77	0.57	1.61	65.99
Agustus	5.2	1.4	1.8	7.99	0.75	1.19	40.32
September	5.9	1.6	2.9	8.54	0.61	1.29	41.13
Oktober	12.5	3.7	6.5	21.17	0.41	2.00	107.58
November	12.3	5.3	12.2	20.86	0.31	2.41	95.16
Desember	16.5	7.8	16.5	29.62	0.27	2.96	143.75
Jumlah							1180.48

TABEL 3.2.1. PERHITUNGAN PERKIRAN BESARNYA EROSI PADA DAS. LESTI

DAERAH	R	K	LS	C	A	LURAS ha	EROSI LAHAN ton/th	SUR %	EROSI ton/th	POTENSIAL m ³ /th	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	944.81	0.09	23.995	0.001	2.04	6.649.35	12.567.10	12.113.48	58.51	7.544.56	6.736.31
2	944.81	0.16	23.995	0.001	3.63	987.97	3.563.68	3.199.71	59.20	2.121.54	1.854.23
3	944.81	0.16	23.995	0.100	562.73	495.75	179.616.86	160.550.77	61.17	109.933.96	98.208.91
4	944.81	0.09	23.995	0.100	204.04	148.72	30.344.30	27.093.12	64.80	19.563.11	17.556.34
5	944.81	0.22	5.776	0.001	1.20	488.43	586.40	523.57	58.38	342.34	305.66
6	944.81	0.09	5.776	0.200	98.23	101.06	9.927.12	0.863.50	63.79	6.232.51	5.654.03
7	944.81	0.22	5.776	0.200	240.12	131.37	31.544.27	28.164.53	62.23	19.630.00	17.526.79
8	944.81	0.09	5.776	0.200	98.23	373.94	30.732.13	22.796.54	58.87	21.624.20	19.307.23
9	944.81	0.09	5.776	0.400	195.46	182.40	16.106.31	14.453.64	65.98	10.681.04	9.536.65
10	944.81	0.16	5.776	0.010	8.73	152.04	1.327.55	1.185.31	62.23	826.13	737.82
11	944.81	0.24	5.776	0.400	523.89	280.17	146.779.20	131.052.86	61.30	99.975.65	80.335.40
12	944.81	0.24	5.776	0.010	13.10	819.72	10.723.05	9.574.15	57.15	6.128.22	5.471.83
13	944.81	0.24	3.724	0.010	8.44	947.37	7.999.91	7.142.78	54.17	4.353.55	3.869.24
14	944.81	0.24	3.724	0.200	168.69	737.45	122.690.39	109.723.56	54.48	66.950.68	59.777.40
15	944.81	0.22	3.724	0.200	154.91	515.41	79.792.06	71.242.91	55.44	44.236.72	39.497.07
16	944.81	0.24	3.724	0.010	8.44	855.46	7.223.96	6.449.96	54.27	3.920.44	3.500.40
17	944.81	0.20	3.724	0.200	137.03	272.67	53.764.79	48.004.28	57.38	30.850.24	27.544.86
18	944.81	0.28	3.724	0.010	9.85	197.42	1.944.93	1.736.34	58.76	1.142.64	1.020.39
19	180.48	0.28	3.724	0.200	246.18	504.51	6.210.06	5.544.70	55.73	3.460.87	3.090.06
20	180.48	0.28	3.724	0.200	246.18	212.22	52.244.75	46.647.10	58.22	30.416.69	27.157.94
21	180.48	0.28	3.724	0.200	246.18	212.22	52.244.75	46.647.10	58.22	30.416.69	27.157.94
22	180.48	0.28	3.724	0.200	246.18	1.620.64	25.410.44	20.009.32	52.43	11.749.79	10.490.89
23	180.48	0.17	3.724	0.010	12.31	36.71	451.67	403.45	63.11	285.17	254.82
24	180.48	0.17	3.724	0.010	7.47	182.37	163.28	163.28	64.97	118.81	106.08
25	1423.33	0.28	3.724	0.010	14.84	2.434.82	36.136.01	32.264.29	51.79	18.714.84	16.709.69
26	1423.33	0.17	14.833	0.010	35.89	348.75	12.516.93	11.175.83	53.76	7.480.12	6.679.57
27	1423.33	0.28	14.833	0.010	59.11	104.01	6.148.48	5.489.71	61.21	3.886.45	3.470.05
28	1423.33	0.28	14.833	0.010	59.11	67.90	3.978.39	3.552.14	64.67	2.572.83	2.297.17
29	1423.33	0.28	14.833	0.005	29.56	178.22	5.267.68	4.703.28	62.54	3.294.40	2.941.43
30	1423.33	0.17	14.833	0.100	358.31	1.326.42	475.063.17	425.056.40	58.24	277.259.19	247.552.85
31	1423.33	0.28	14.833	0.100	591.14	1.326.42	475.063.17	425.056.40	58.24	277.259.19	247.552.85
32	1423.33	0.17	14.833	0.200	717.82	718.43	515.701.00	460.447.32	62.40	306.171.65	273.361.98
33	1423.33	0.17	14.833	0.005	17.95	67.89	1.218.31	1.087.78	65.82	601.69	537.58
34	1423.33	0.28	14.833	0.005	29.56	84.68	2.508.81	2.240.01	65.00	1.630.73	1.456.01
35	1423.33	0.28	14.833	0.200	1182.29	107.23	126.776.55	113.193.35	65.00	82.404.76	73.575.68
36	1423.33	0.25	14.833	0.200	1055.61	450.36	475.405.73	425.056.40	60.56	267.905.71	237.058.67
37	1423.33	0.25	14.833	0.100	527.61	1.074.52	567.136.48	506.373.64	59.48	331.662.58	296.127.30
38	1423.33	0.17	3.724	0.100	90.11	2.905.60	26.1618.32	233.766.35	55.42	134.626.96	120.202.66
39	1423.33	0.17	3.724	0.200	180.22	534.20	96.271.57	85.956.76	55.67	53.594.39	47.852.13
40	1423.33	0.26	3.724	0.200	296.69	1.000.51	296.976.71	265.159.21	53.66	159.958.56	142.264.47
41	1423.33	0.17	3.724	0.200	180.22	2.102.08	178.829.13	158.240.25	52.92	196.726.00	175.648.21
42	1423.33	0.22	5.770	0.200	761.36	352.35	127.323.19	113.681.64	61.39	78.617.39	67.515.33
43	1423.33	0.22	5.770	0.200	116.61	3.523.62	402.851.35	353.549.96	51.07	205.846.42	185.647.70
44	1423.33	0.09	5.770	0.001	0.74	541.52	400.26	357.37	59.20	236.95	211.56
45	1423.33	0.09	5.770	0.100	73.91	526.30	36.900.69	34.732.76	58.14	22.616.86	20.193.63
46	1423.33	0.09	5.770	0.100	147.83	970.19	143.420.33	128.053.67	56.37	80.846.04	72.183.96
47	1423.33	0.22	5.770	0.200	361.36	121.27	43.821.52	39.126.36	62.52	27.397.22	24.461.40
48	1423.33	0.22	5.770	0.200	361.36	151.59	64.777.81	48.908.76	61.73	33.814.34	30.191.38
49	1423.33	0.22	5.770	0.001	1.81	122.12	220.64	197.00	62.83	123.67	109.09
50	1423.33	0.09	5.770	0.001	0.74	1154.48	953.32	761.89	55.18	479.39	428.03
51	1423.33	0.17	5.770	0.010	12.96	289.62	1.731.43	1.356.24	58.72	1.356.24	1.246.55
52	1423.33	0.17	5.770	0.010	12.96	779.51	1.731.43	1.356.24	58.72	1.356.24	1.246.55
53	1423.33	0.22	3.724	0.200	233.22	771.50	173.330.13	160.651.80	62.73	98.387.74	87.667.74
54	1423.33	0.22	3.724	0.200	233.22	364.78	61.1752.30	55.152.98	57.78	55.680.48	51.857.57
Jumlah							59.557.89	5.368.052.99	4.732.940.07	3.072.340.07	2.743.696.49

III.2. S e d i m e n T r a n s p o r t

III.2.1. Perkiraan Sedimentasi Potensial

Proses pengangkutan sediment yang berasal dari proses erosi yang secara potensial mempunyai kemampuan untuk menggendap di dalam waduk disebut dengan istilah Sedimentasi Potensial (istilah proyek Brantas).

Dengan demikian, maka Sedimentasi Potensial dapat disetarakan dengan laju pengangkutan sedimen di dalam aliran sungai yang menuju ke suatu waduk.

Pada studi ini dianggap jumlah sediment yang berasal dari penggerusan tebing ataupun dasar sungai seimbang dengan jumlah sediment yang berasal dari erosi lahan di atasnya yang mengendap baik pada dasar maupun pada tepi-tepi sungai.

Berdasarkan pada kriteria di atas, maka volume sedimentasi potensial atau volume pengangkutan sedimen oleh aliran sungai menuju ke dalam waduk akan sama dengan volume erosi lahan di atasnya yang dapat mencapai aliran sungai.

Seperti disebutkan di depan bahwa terdapat perbandingan (ratio) antara sediment yang dapat mencapai aliran sungai dan yang tidak dapat mencapai aliran sungai, yaitu SDR.

Jadi untuk memperkirakan berapa volume sediment yang akan masuk ke dalam waduk, maka nilai dari hasil erosi

lahan harus dikalikan dengan SDR untuk masing-masing daerah tumpang tindihan.

Adapun perhitungannya tertera pada Tabel 3.2.1.

III.2.1.1. Kapasitas sedimen transport Kali Lesti

Untuk memperkirakan seberapa besar kapasitas angkutan sedimen pada Kali Lesti, maka perlu dianalisa total sedimennya.

III.2.1.1.1. Analisa suspended load

Di dalam memperkirakan jumlah angkutan suspended load pada Kali Lesti, harus ditentukan lebih dahulu pola persamaan sedimennya. Pola persamaan sedimen yang dimaksud adalah hubungan antara debit aliran sungai (Q_w) dan debit sedimen (Q_s).

Selanjutnya data debit aliran yang ada dianalisa dan dianalisa memakai Power Regresi, sehingga didapat hasil perhitungan persamaan suspended load Kali Lesti seperti yang terlihat pada tabel 3.2.1.1.

Dari tabel tersebut didapatkan harga-harga :

$$b = 1.797 ; a = 0.967 ; r = 0.947$$

dari persamaan dasar Power Regresssion

$$Y = A \cdot X^B$$

$$\ln Q_s = \ln A + B \cdot \ln Q_w$$

jadi persamaan hubungan antara Q_s dan Q_w adalah

TABEL 3.2.1.1.1. PERHITUNGAN ANALISA PERSAMAAN SUSPENDED LOAD
KALI LESTI

TANGGAL	Qw (m3/dt)	C (mg/l)	Qs (ton/hr)	ln Qw (X)	ln Qs (Y)	X.Y	X^2	Y^2
15-02-78	10.60	214.0	195.990	2.361	5.278	12.461	5.574	27.858
22-02-78	14.00	295.0	364.478	2.660	5.890	15.691	7.077	34.792
18-05-78	20.60	429.0	763.551	3.025	6.630	20.082	9.152	44.063
27-06-78	80.80	469.0	9.274.145	4.342	8.094	35.548	19.269	65.510
11-07-78	41.90	935.0	3.304.850	3.725	8.127	30.357	13.952	66.049
01-08-78	30.00	660.0	1.970.997	3.496	7.534	26.297	12.183	56.760
22-08-78	21.70	493.0	933.640	3.077	6.839	21.046	9.470	46.774
31-10-78	13.80	249.0	296.883	2.625	5.693	14.943	6.889	32.414
21-11-78	21.10	464.0	845.891	3.049	6.740	20.553	9.298	45.433
19-12-78	20.50	259.0	458.741	3.020	6.128	18.511	9.123	37.558
06-03-79	24.40	833.0	1.235.382	3.195	7.119	22.743	10.205	50.682
03-05-79	24.00	386.0	800.410	3.178	6.035	21.246	10.100	44.691
21-11-80	13.70	143.0	169.266	2.617	5.131	13.431	6.851	26.332
06-12-80	16.20	345.0	482.890	2.785	6.180	17.211	7.756	30.190
14-11-80	6.30	100.0	54.432	1.841	3.997	7.357	3.388	15.976
13-02-81	16.70	215.0	310.219	2.815	5.737	16.153	7.927	32.916
12-03-81	13.40	209.0	241.972	2.595	5.489	14.245	6.735	30.127
19-06-81	23.40	320.0	646.963	3.153	6.472	20.405	9.940	41.891
TOTAL				53.615	113.782	340.278	164.909	738.015

Didapatkan harga total dari :

$$X = 53.614$$

$$Y = 113.78$$

$$XY = 340.27$$

$$X^2 = 164.90$$

$$Y^2 = 738.01$$

$$r = 0.967416 ; \quad r^2 = 0.946947$$

Sehingga didapatkan persamaan suspended load :

$$Q_s = 2.631 \times Q_w^{1.797}$$

$$Q_s = e^{0.967} \cdot Q_w^{1.797}$$

Dalam test hipotesa distribusi t, didapatkan

$$t = t(\alpha, v)$$

$$v = m - 2 = 18 - 2 = 16$$

α = selang kepercayaan, diambil 5%

$$t = t(0.05, 16) = 1.746 \text{ (dari tabel 3.2.1.2)}$$

$$t' = \frac{r (m - 2)^{0.5}}{(1 + r^2)^{0.5}} = \frac{0.947 (18 - 2)^{0.5}}{(1 + 0.947^2)^{0.5}} = 2.75$$

$t' > t \longrightarrow H_0$ ditolak atau H_1 diterima (ada korelasi)

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, persamaan pendekatan untuk menentukan jumlah angkutan suspended load adalah

$$Q_s = 2.631 \cdot Q_w^{1.797}$$

Data debit aliran Klai Lesti didapat dari hasil pengukuran Proyek Brantas Malang yang diukur di Stasiun Clumprit. Dengan memasukkan harga debit tersebut ke dalam persamaan di atas, maka dapat diperkirakan besar angkutan suspended load pada kali tersebut. Perhitungannya dapat dilihat pada tabel 3.2.1.3.

TABEL 3.2.1.3. PERKIRAAN JUMLAH SEDIMEN SUSPENDED LOAD
PADAR KALI LESTI

Bulan	Waktu		Debit		Debit sedimen	
	(hari)	(detik)	Q_u (m ³ /dt)	(ton/hr)	Q_s (ton/bln)	(m ³ /bln)
Januari	31	2,678,400	15.1	345.734	10,717.8	9,569.4
Februari	28	2,419,200	15.1	345.734	9,680.6	8,643.4
Maret	31	2,678,400	15.2	349.860	10,845.6	9,683.6
April	30	2,592,000	15.0	341.631	10,248.9	9,150.0
Mei	31	2,678,400	14.8	333.489	10,338.2	9,230.5
Juni	30	2,592,000	14.7	329.450	9,883.5	8,824.6
Juli	31	2,678,400	14.7	329.450	10,213.0	9,118.7
Agustus	31	2,678,400	14.7	329.450	10,213.0	9,118.7
September	30	2,592,000	14.7	329.450	9,883.5	8,824.6
Oktober	31	2,678,400	14.7	329.450	10,213.0	9,118.7
November	30	2,592,000	14.8	333.489	10,004.7	8,932.7
Desember	31	2,678,400	15.0	341.631	10,590.6	9,455.8
TOTAL					122,832.2	109,671.6

III.2.1.1.2. Analisa bed load

Seperti telah diuraikan sebelumnya bahwa analisa bed load pada Kali Lesti diselesaikan dengan menggunakan metode Engelund and Hansen.

Perhitungan bed load Kali Lesti dapat dilihat pada tabel 3.2.1.4.

III.2.1.1.3. Perkiraan total angkutan sedimen

Total angkutan sedimen pada Kali Lesti dapat diperkirakan dengan cara menjumlahkan angkutan suspended load dan bed loadnya seperti ditunjukkan pada tabel 3.2.1.5.

TABEL 3.2.1.5. PERKIRAAN TOTAL ANGKUTAN SEDIMEN
PADA KALI LESTI

Bulan	Suspended load m ³ /bln	Bed load m ³ /bln	Total
Januari	9,277.43	249,465.83	258,743.26
Februari	8,433.36	217,167.87	225,601.23
Maret	9,357.61	243,713.17	253,070.78
April	9,116.17	212,608.34	221,724.51
Mai	9,130.49	236,825.49	245,955.98
Juni	8,374.57	229,034.99	237,409.56
Juli	9,118.72	236,690.15	245,808.87
Agustus	9,113.72	236,690.15	245,803.87
September	8,374.57	229,034.99	237,409.56
Oktober	9,118.72	236,690.15	245,808.87
November	8,374.57	229,034.99	237,409.56
Dekember	9,277.43	249,465.83	258,743.26
Jumlah			2,709,053.48

TABEL 3.2.1.4. PERKIRAN JUMLAH SEDIMEN BED LOAD pada KHALI LESTI

Bulan	Waktu		Debit Tinggi Q_w (m ³ /dt)	h (m)	U (m/dt)	C	u	Y	X	ANGUTAN SEDIMEN	
	(hr)	(detik)								(m ³ /dt)	S (m ³ /bln)
Januari	31	2,678,400	15.1	0.41	2.17	35.034	7.0427	0.0747	55.0280	0.0890	340,435.98
Februari	28	2,419,200	15.1	0.41	2.13	35.034	7.0427	0.0747	55.0280	0.0890	217,167.89
Maret	31	2,678,400	15.2	0.42	2.10	34.888	6.8782	0.0747	55.1416	0.0899	240,713.17
April	30	2,592,000	15.0	0.41	2.12	35.696	7.0054	0.0751	54.2510	0.0886	229,600.24
Mei	31	2,678,400	14.3	0.34	2.20	37.964	7.3592	0.0752	54.2510	0.0884	236,825.49
Juni	30	2,592,000	14.7	0.38	2.24	39.206	7.5512	0.0752	54.2200	0.0884	229,054.99
Juli	31	2,678,400	14.7	0.38	2.24	39.206	7.5512	0.0752	54.2200	0.0884	236,690.15
Agustus	31	2,678,400	14.7	0.38	2.24	39.206	7.5512	0.0752	54.2200	0.0884	229,054.99
September	30	2,592,000	14.7	0.38	2.24	39.206	7.5512	0.0752	54.2200	0.0884	236,690.15
Oktober	31	2,678,400	14.7	0.38	2.24	39.206	7.5512	0.0752	54.2200	0.0884	229,185.96
November	30	2,592,000	14.8	0.39	2.20	37.964	7.3592	0.0752	54.2510	0.0884	229,185.96
Desember	31	2,678,400	15.0	0.41	2.12	35.696	7.0054	0.0751	54.3510	0.0886	237,261.85
TOTAL										1.0653	2,799,378.90

Catatan:

1 - U_{kritik} ; Lebar sungai = 17.26 m ; d₅₀ = 0.7 mm ; g = 9.81 m/dt²

III.2.1.1.4. Sedimen dari erosi DAS Lesti yang mampu ditransport oleh Kali Lesti

Besarnya erosi lahan pada DAS Lesti yang masuk ke dalam Kali Lesti dan yang akan terangkut ke arah hilir tergantung pada kapasitas angkutan sedimen kali ini.

Berdasarkan perhitungan pada tabel 3.2.1.5. didapatkan bahwa kapasitas angkutan sedimen pada Kali Lesti adalah sebesar 2.909.050,48 m³/th, sedangkan besarnya sedimen yang berasal dari erosi lahan pada DAS Lesti adalah 2.743.636,49 m³/th. Karena besarnya sedimen yang berasal dari erosi lahan lebih kecil dari kapasitas angkutan sedimen kali ini, maka semua materi hasil erosi lahan yang masuk ke dalam sungai akan terangkut dan terbawa ke arah hilir.

III.2.1.2. Erosi pada alur Kali Lesti

Besarnya erosi alur pada Kali Lesti dihitung berdasarkan perhitungan sebagai berikut :

- Besarnya sedimen yang masuk ke dalam Waduk Karang-kates antara tahun 1973 - 1986 (Tabel 3.2.4) :
$$= 56.808.991,00 \text{ m}^3$$
$$= 4.369.922,39 \text{ m}^3/\text{th} \quad (\text{A})$$
- Besarnya sedimen yang berasal dari Sub Basin Bran

$$\text{tas} = 890.000,00 \text{ m}^3/\text{th} \quad (\text{B})$$

$$\begin{aligned} - \text{Besarnya sedimen yang berasal dari Remaining} \\ \text{Sengguruh-Brantas} &= 213.000,00 \text{ m}^3/\text{th} \quad (\text{C}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{Besarnya sedimen yang berasal dari erosi DAS Lesti} \\ (\text{Tabel 3.2.1}) &= 2.743.686,49 \text{ m}^3/\text{th} \quad (\text{D}) \end{aligned}$$

Jadi besarnya erosi pada alur Kali Lesti adalah :

$$(\text{A}) - (\text{B}) - (\text{C}) - (\text{D}) = 523.225,90 \text{ m}^3/\text{th}$$

akan masuk ke dalam waduk, maka nilai dari hasil erosi lahan harus dikalikan dengan SDR untuk masing-masing daerah tumpang tindihan.

III.2.2. Sedimentasi waduk

Tidak semua sediment yang terangkut oleh aliran sungai dan masuk ke dalam waduk dapat mengendap ke dasar waduk. Sebagian sediment yang tidak dapat mengendap di dasar waduk akan ikut melimpah keluar waduk melalui saluran irigasi primer, saluran pelimpah (spillway) ataupun masuk ke dalam turbin pembangkit listrik.

Perbandingan antara jumlah sediment yang mengendap ke dasar waduk dengan jumlah sedimen yang ikut melimpah tersebut disebut *Trap Efficiency* terhadap sediment (efisiensi penangkapan).

III.2.2.1. Tinjauan pada Waduk Sengguruh

Apabila suatu waduk dengan kapasitas tampungan kecil terletak pada sungai yang besar alirannya, maka sebagian dari aliran tersebut akan dilewatkan dengan cepat, hal ini menyebabkan sediment yang halus tidak akan sempat mengendap ke dasar waduk. Untuk waduk dengan kapasitas tampungan besar akan

mampu menahan air untuk beberapa lama, sehingga memungkinkan terjadinya pemisahan muatan melayang (suspended load) secara sempurna.

Untuk menghitung besarnya sediment yang tertahan di waduk, Brune⁴ membuat suatu kurva hubungan antara efisiensi penangkapan waduk atau tertahannya sediment yang masuk (%) dan perbandingan kapasitas waduk terhadap debit air tahunan rata-rata yang masuk, lihat gambar 3.1..

Efisiensi penangkapan meningkat dengan bertambah lamanya waktu menetap dari air yang bermuatan sediment dalam waduk. Untuk Waduk Sengguruh diperkirakan berdasarkan persamaan empiris berikut ini :

$$Y = 100 \left(1 - \frac{1}{1 + a.X} \right)^n \quad (4.1)$$

dimana,

Y = efisiensi tangkapan waduk

X = angka perbandingan antara kapasitas tampungan dengan inflow tahunan (C/I)

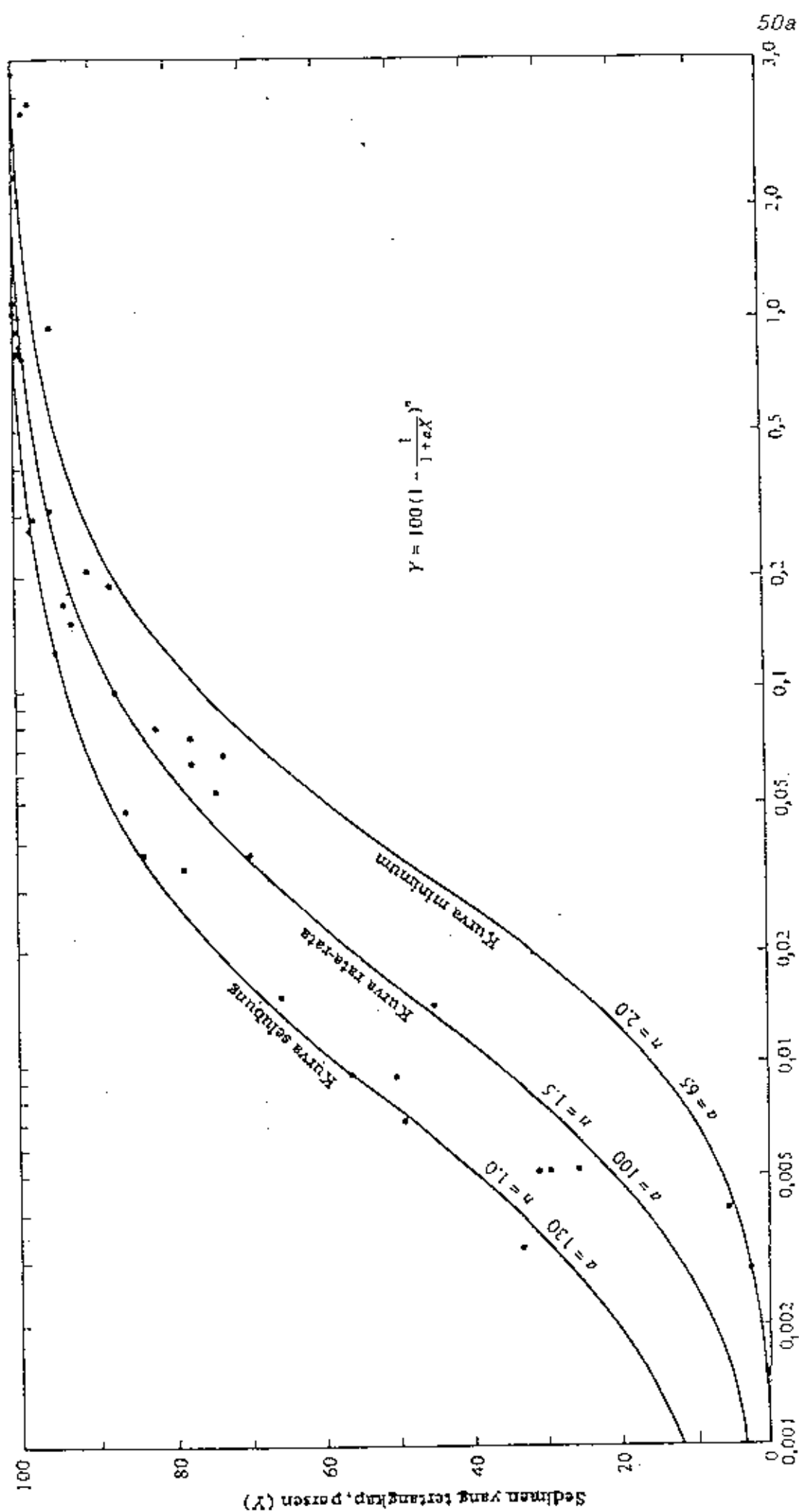
a,n = konstanta yang tergantung pada fluktuasi muka air waduk, mempunyai harga :

$$a = 65 - 130 \quad n = 1 - 2$$

Untuk Waduk Sengguruh, kurva yang digunakan

⁴Ray K. Linsley, JR - Max A. Kohler - Joseph L.H. Paulhus - Ir. Yandi Hermawan, *HIDROLOGI UNTUK INSINYUR (terjemahan)*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1986.

GAMBAR 3.1
EFISIENSI TANGKAPAN DARI WADUK NORMAL



$$a = 65 - 130$$

$$n = 1 - 2$$

Untuk Waduk Sengguruh, kurva yang digunakan adalah kurva rata-rata.

Data-data Waduk Sengguruh untuk keperluan ini adalah sebagai berikut :

$$\text{Pemasukan tahunan} = 1\,740 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{th}$$

$$\text{Kapasitas tampungan mati} = 19 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Luas DAS} = 1\,659 \text{ km}^2$$

$$\text{Kapasitas tampungan waduk} = 21.5 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Sediment masuk per-tahun :

$$\text{- Sub Basin Brantas} = 0.89 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{th}$$

$$\text{- Sub Basin Lesti} = 2\,743\,696.49 \text{ m}^3/\text{th}$$

$$\text{Total} = 3\,633\,696.49 \text{ m}^3/\text{th}$$

Kapasitas tampungan waduk pada tahun 1994 tentu berkurang setara dengan besarnya sediment yang mengendap.

Untuk memperkirakan besarnya sediment yang mengendap dan yang lolos selama periode 1989 - 1994, dihitung berdasarkan persamaan (4.1).

$$C/I = \frac{21.5 \times 10^6}{1740 \times 10^6} = 0.012$$

$$Y = 100 \times \left[1 - \frac{1}{1 + 100 \times 0.012} \right]^{1.5}$$

$$= 40.28 \%$$

Jadi besarnya efisiensi tangkapan pada waktu itu

adalah 40.28 % berarti sediment yang terendap dalam waduk selama periode 1989 - 1994 adalah

$$= 40.28 \% \times (5 \times 3\,633\,696.49) \text{ m}^3$$

$$= 7\,318\,264.73 \text{ m}^3$$

Sehingga kapasitas Waduk Sengguruh pada tahun 1994 menjadi

$$= (21.5 \times 10^6 - 7\,318\,264.73) \text{ m}^3$$

$$= 14\,181\,735.27 \text{ m}^3$$

$$\sim 14.2 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Sedangkan sisa kapasitas tampungan mati menjadi

$$= (19 \times 10^6 - 7\,318\,264.73) \text{ m}^3$$

$$= 11\,681\,735.27 \text{ m}^3$$

$$\sim 11.7 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Dalam perhitungan usia guna Waduk Sengguruh, penentuan efisiensi tangkapan waduk didasarkan pada pengisian setiap 1.17 juta m^3 sediment, sesuai dengan kriteria bahwa sediment yang masuk ke dalam waduk dihitung berdasarkan volumenya, sedangkan umur waduk dianggap terbatas bila sediment memenuhi tampungan mati.

Contoh perhitungan :

Kapasitas tampungan waduk pada awal mulai operasi pada tahun 1989 adalah $= 21.5 \times 10^6 \text{ m}^3$

Pemasukan tahunan $= 1\,740 \times 10^6 \text{ m}^3$

Harga C/I didapatkan = 0.012

Berdasarkan persamaan (4.1) efisiensi tangkapan

$$Y = 100 \times \left[1 - \frac{1}{1 + 100 \times 0.012} \right]^{1.5}$$

$$= 40.28 \%$$

Sediment mengendap pertahun

$$= 40.28 \% \times 3\,633\,696.49$$

$$= 1\,463\,652.95 \cdot m^3$$

Sediment lolos per-tahun

$$= 3\,633\,696.49 - 1\,463\,652.95$$

$$= 2\,170\,043.54 \, m^3$$

$$\text{Waktu penuh} = \frac{1.17 \times 10^6}{1\,463\,652.95}$$

$$= 0.80 \text{ tahun}$$

Hasil perhitungan lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3.2.2.

III.2.2.2. Tinjauan pada Waduk Karangates

Waduk Karangates adalah salah satu diantara waduk-waduk serbaguna yang dibangun di sepanjang Kali Brantas, dan merupakan waduk terbesar diantara waduk-waduk yang sudah maupun yang akan dibangun di sepanjang Kali Brantas. Waduk Karangates yang mulai digenangi pada tahun 1972 dengan DAS seluas 205 000 ha ini direncanakan mempunyai umur guna sekitar 100 tahun lebih, dengan tampungan mati (dead storage) sebesar $90 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Pada tinggi permukaan air maksimum (+ 272,25 m dpl.), luas permukaan air mencapai 1 500 ha dan pada ketinggian ini volume air di dalam waduk mencapai $238 \times 10^6 \text{ m}^3$ yang merupakan kemampuan tampungannya (storage capacity).⁵

Sebagaimana tertera pada Informasi Dasar tentang Status Sedimen yang secara terperinci disajikan pada Tabel 3.2.3, pada saat perencanaannya, Waduk Karangates ini diharapkan hanya mampu menerima laju sedimentasi sebesar $510 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{th}$, harga ini setara dengan volume tanah tererosi di-DAS-nya sebesar $2.49 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{th}$ dan

⁵DPU - Badan Pelaksana Proyek Induk Pengembangan Wilayah Sungai Kali Brantas, LAPORAN UTAMA.

setara juga dengan tanah tererosi setinggi 0,25 mm/th.

Volume sedimen yang mengendap di dalam waduk tersebut berasal dari erosi lahan atas di DAS-nya yang terangkut di dalam aliran sungai-sungai yang masuk ke dalam waduk sebesar $100 \times 10^6 \text{ m}^3$ yang setara dengan volume tanah sebesar $567 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{th}$ atau $2.77 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{th}$.

Tabel 3.2.3. Informasi Dasar tentang Status Sedimen di Waduk Karangates.

Macam Sedimentasi	Satuan	Laju Sedimentasi Maksimum diperbolehkan (rencana)
Pengendapan Sedimen atau Sedimentasi Aktual	m^3/th $\text{m}^3/\text{ha}/\text{th}$ mm/th	80×10^6 510×10^3 2.48 0.25
Pengangkutan Sedimen atau Sedimentasi Potensial	m^3/th $\text{m}^3/\text{ha}/\text{th}$ mm/th	100×10^6 567×10^3 2.77 0.28

Sumber : DPU - Badan Pelaksana Proyek Induk Pengembangan Wilayah Sungai Kali Brantas - Laporan Utama

Sebelum adanya Waduk Sengguruh, sediment yang masuk ke Waduk Karangates sejak mulai dioperasikan tahun 1973 sampai 1988 besarnya bisa dilihat pada Tabel 3.2.4. berikut ini.

Tabel 3.2.4. HASIL PENGUKURAN SEDIMEN
pada WADUK KARANGKATES

Pengkukuran di waduk		
Periode	Total Sedimen	m ³
rata-2		
m ³ /th		
1973 - 1974	9,662,026	9,662,026
1974 - 1975	11,593,700	11,593,700
1975 - 1976	12,621,850	12,621,850
1976 - 1977	4,663,830	4,663,830
1977 - 1980	4,752,831	1,584,277
1982 - 1982	10,228,000	2,045,000
1983 - 1983	2,852,664	1,426,332
1984 - 1984	1,727,000	1,727,000
1985 - 1985	1,387,000	1,387,000
1986 - 1986	8,042,585	2,010,646

Sumber : Proyek Brantas

Tabel 3.2.4. HASIL PENGUKURAN SEDIMEN
pada WADUK KARANGKATES
setelah dipertinci

Total sedimen		
Periode		m ³ /th
rata-2		
1973 - 1974	9,662,026.00	
1974 - 1975	11,593,700.00	
1975 - 1976	12,621,850.00	
1976 - 1977	4,663,830.00	
1977 - 1978	1,584,277.00	
1978 - 1979	1,584,277.00	
1979 - 1980	1,584,277.00	
1980 - 1981	4,045,837.00	
1981 - 1982	1,426,332.00	
1982 - 1983	1,426,332.00	
1983 - 1984	1,727,000.00	
1984 - 1985	1,387,000.00	
1985 - 1986	3,502,253.00	
Total		56,308,991.00

Untuk sediment periode 1986 - 1988, rata-rata pertambahannya ditentukan berdasarkan jumlah sediment yang berasal dari :

- Sub Basin Brantas = $0.89 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{th}$
- Sub Basin Lesti = $2\,743\,686.48 \text{ m}^3/\text{th}$
- Remaining Basin Sengguruh-Karangkates
= $0.213 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{th}$
- Total = $3\,846\,696.48 \text{ m}^3/\text{th}$

Sehingga selama periode 1986 - 1988 volume yang masuk menjadi = $2 \times 3\,846\,696.48$
= $7\,693\,392.96 \text{ m}^3$

Total sediment yang masuk ke Waduk Karangkates pada periode 1973 - 1988 adalah

$$= 56\,808\,991 + 7\,693\,392.96$$

$$= 64\,502\,383.96 \text{ m}^3$$

Usia guna Waduk Karangkates dianggap habis apabila sediment pada waduk memenuhi tampungan mati sebesar $90 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Prosedur perhitungan usia guna Waduk Karangkates sama seperti halnya dengan perhitungan usia guna Waduk Sengguruh.

Data-data Waduk Karangkates pada awal operasi 1973 :

$$\text{Pemasukan tahunan} = 2\,119 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{th}$$

$$\text{Kapasitas tampungan mati} = 90 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Kapasitas tampungan} = 343 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Kapasitas tampungan Waduk Karangates pada tahun 1988, awal Waduk Sengguruh dioperasikan, tentu berkurang setara dengan besarnya sediment yang mengendap. Untuk memperkirakan besarnya sediment yang mengendap selama periode 1973 - 1988, dihitung berdasarkan persamaan (4.1)

$$C/I = \frac{343 \times 10^6}{2119 \times 10^6} = 0.1618$$

$$Y = 100 \times \left[1 - \frac{1}{1 + 100 \times 0.1618} \right]^{1.5}$$

$$= 91.4 \%$$

Karena efisiensi tangkapan pada waktu itu 91.4 % , berarti sediment yang terendap dalam waduk selama periode 1973 - 1988 adalah

$$= 91.4 \% \times 64\,502\,383.98 \text{ m}^3$$

$$= 58\,955\,178.96 \text{ m}^3$$

Kapasitas Waduk Karangates menjadi

$$= 343 \times 10^6 - 58\,955\,178.96$$

$$= 284\,044\,821.04 \text{ m}^3$$

Sedangkan sisa tampungan matinya menjadi

$$= 90 \times 10^6 - 58\,955\,178.96$$

$$= 31\,044\,821.04 \text{ m}^3$$

Kondisi Waduk Karangates setelah Waduk Sengguruh dioperasikan pada tahun 1988 menjadi

$$\text{Pemasukan tahunan} = 2\,118 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{th}$$

$$\text{Kapasitas tampungan mati} = 31\,044\,821.04 \text{ m}^3$$

$$\text{Kapasitas tampungan} = 284\,044\,821.04 \text{ m}^3$$

Sediment yang masuk per-tahun :

$$\begin{aligned} & - \text{rata-rata sediment yang lolos dari Waduk} \\ & \quad \text{Sengguruh} = 2\,741\,998.82 \text{ m}^3/\text{th} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & - \text{Remaining Basin Sengguruh-Karangates} \\ & = 0.213 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{th} \end{aligned}$$

$$\text{Total} = 2\,954\,998.82 \text{ m}^3/\text{th}$$

Dalam perhitungan usia guna Waduk Karangates, penentuan efisiensi tangkapan waduk didasarkan pada pengisian setiap $3.105 \times 10^6 \text{ m}^3$ sedimen, hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3.2.5.

Tabel 3.2.5. PERHITUNGAN USIA GUNA WADUK KARANGKATES

C	Crt2	I	X = C/I	Y	Sedimen masuk m3	Sedimen endap m3	Sedimen lolos m3	Waktu th
10 ⁻⁶ m3	10 ⁻⁶ m3	10 ⁻⁶ m3	10 ⁻⁶ m3	%	6	7	8	9
284.05	282.497	2119	0.1333	89.72	2,954,998.82	2,651,177.78	303,821.04	1.17
280.95	279.392	2119	0.1319	89.61	2,954,998.82	2,648,097.00	306,901.82	1.17
277.84	276.287	2119	0.1304	89.51	2,954,998.82	2,644,953.14	310,045.68	1.17
274.73	273.182	2119	0.1289	89.40	2,954,998.82	2,641,744.25	313,254.57	1.18
271.63	270.077	2119	0.1275	89.29	2,954,998.82	2,638,468.28	316,530.54	1.18
268.52	266.972	2119	0.1260	89.18	2,954,998.82	2,635,123.11	319,875.71	1.18
265.42	263.867	2119	0.1245	89.06	2,954,998.82	2,631,706.53	323,292.29	1.18
262.31	260.762	2119	0.1231	88.94	2,954,998.82	2,628,216.22	326,782.60	1.18
259.21	257.657	2119	0.1216	88.82	2,954,998.82	2,624,649.78	330,349.04	1.18
256.10	254.552	2119	0.1201	88.70	2,954,998.82	2,621,004.69	333,994.13	1.18
253.00								

J u n i 1 9 8 1 11.78

miring akan terbentuk teras-teras. Air hujan yang jatuh akan diterima oleh atap-atap bangunan, untuk selanjutnya dialirkan melalui saluran-saluran pelimpahan air hujan. Kemungkinan terjadinya erosi hanya pada halaman/pekarangan disekitar bangunan, dan hal ini pun relatif kecil mengingat umumnya pekarangan/halaman juga dibuat rata permukaannya. Faktor-faktor vegetasi dan manusia ini akan berpengaruh pada tataguna lahan.

Dataran rendah, dataran alluvial dan dataran intervulkanik merupakan sumber utama produksi tanaman pangan, pada daerah ini jaringan irigasi (gravity) mencakup skala yang cukup luas, mampu memproduksi tanaman sampai tiga kali dalam satu tahun. Pola tanam yang biasa dilakukan terdiri dari 2 (dua) kali tanaman padi dan satu kali tanaman polowijo. Sedangkan terrain pegunungan dan perbukitan vulkanik, bagian tengah dan atas diutamakan untuk produksi tanaman semusim tadah hujan, tanaman tahunan, dan tanaman keras. Diversifikasi penanaman tanaman keras (kopi, cengkeh, kelapa, pepaya) dengan produksi tanaman pangan semusim sudah meluas. Apabila penyediaan air cukup banyak, sering dilakukan pembuatan irigasi tambahan didesa dan setiap tahun paling tidak ditanam tanaman padi sawah satu kali. Dan juga tanaman semusim lain, misalnya :

II.2. ANALISA STUDI

II.2.1. Metode Prediksi Erosi

Metode yang secara luas telah dipakai untuk memprediksi erosi di suatu area adalah Metode Universal Soil Loss Equation (USLE). Dengan metode ini perencanaan dapat menduga laju rata-rata erosi suatu tanah tertentu pada suatu kemiringan lereng dengan pola hujan tertentu untuk setiap macam tanaman dan tindakan pengelolaan yang mungkin dilakukan atau yang sedang dilaksanakan. Metode yang dikembangkan oleh Wischmeier dan Smith (1958) tersebut dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut :

$$A = R . K . L . S . C . P \quad (2.2)$$

dimana,

A = banyaknya tanah yang tererosi, ton/ha/tahun.

R = faktor erosivitas hujan.

K = faktor erodibilitas tanah.

LS = faktor topografi,

L = panjang lereng.

S = kemiringan lereng, %

C = faktor pengolahan tanah dan tanaman penutup tanah.

P = faktor teknik konservasi tanah yang dipakai.

II.2.1.1. Faktor Erosivitas Hujan (R)

II.2.1.1. Faktor Erosivitas Hujan (R)

Faktor erosivitas hujan adalah kemampuan hujan untuk menimbulkan erosi.

Dari berbagai nilai erosivitas hujan yang dikembangkan oleh para pakar di luar negeri, ternyata Elso mempunyai korelasi yang paling baik (mendekati nyata di banyak daerah) dengan erosi.

Bols (1978) telah mencoba suatu rumus untuk menghitung R yang dapat digunakan dengan data hujan yang pada umumnya tersedia di Indonesia.²

Rumus tersebut adalah sebagai berikut :

$$R = Elso = 6.119.(Rb)^{1.21}.(N)^{-0.47}.(Rm)^{0.59} \quad (2.3)$$

dimana,

R = Elso = erosivitas hujan bulanan.

Rb = curah hujan bulanan, cm.

N = hari hujan dalam satu bulan, hari.

Rm = curah hujan maksimum selama 24 jam dalam satu bulan, cm.

II.2.1.2. Faktor Erodibilitas Tanah (K)

Faktor eodibilitas tanah adalah ukuran kepekaan tanah yang dapat ter-erosi oleh air.

Seperti yang disebutkan di depan bahwa kepekaan tanah ini tergantung pada ketahanan tanah terhadap daya

² DR. Ir. Wani Hadi Utomo, *KONSERVASI TANAH DI INDONESIA*, 1989.

rusak dari luar, baik oleh pukulan air hujan maupun limpasan permukaan, dan kemampuan tanah untuk menyerap air hujan.

Pengamatan yang dilakukan oleh para pakar menunjukkan bahwa sifat-sifat tanah yang mempengaruhi erosi adalah tekstur, struktur, bahan organik, sifat lapisan tanah dan tingkat kesuburan tanah. Tanah bertekstur kasar mempunyai kapasitas infiltrasi yang tinggi, sedangkan tanah yang bertekstur halus mempunyai kapasitas infiltrasi kecil, sehingga dengan curah hujan yang cukup rendahpun akan menimbulkan limpasan permukaan.

Struktur tanah yang mantap akan tahan terhadap pemecahan agregat, dimana tanah yang demikian akan tetap porus dan mempunyai kapasitas infiltrasi yang tinggi.

Harga erodibilitas tanah K menggambarkan kemudahan massa tanah untuk tererosi dan nilainya bervariasi dari 0.00-0.89, jadi makin tinggi nilai erodibilitas berarti tanah makin mudah tererosi.

Kepেকaan tanah di Indonesia dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kelas seperti tertera pada Tabel 2.3.

Sedangkan untuk harga K untuk lokasi studi dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.3. Klasifikasi Erodibilitas Tanah di Indonesia

Klas	Nilai K	Tingkat Erodibilitas
1	< 0.10	Sangat rendah
2	0.10 - 0.15	Rendah
3	0.15 - 0.20	Agak rendah
4	0.20 - 0.25	Sedang
5	0.25 - 0.30	Agak tinggi
6	0.30 - 0.35	Tinggi
7	> 0.35	Sangat tinggi

Sumber : DR. Ir. Wani Hadi Utomo,
Konservasi Tanah di Indonesia, 1989

Tabel 2.4. Perkiraan besarnya nilai K pada DAS Lesti

No	Jenis Tanah	Nilai K
1	Latosol	0.14 - 0.20
2	Mediteran	0.21 - 0.30
3	Kambisol	0.17 - 0.30
4	Regosol	0.16 - 0.28
5	Litosol	0.26 - 0.30
6	Andosol	0.08 - 0.10
7	Alluvial	0.24 - 0.31

Sumber : DR. Ir. Wani Hadi Utomo,
Konservasi Tanah di Indonesia, 1989

II.2.1.3. Faktor Topografi (LS)

Topografi berperan dalam menentukan kecepatan dan volume limpasan permukaan, dua unsur topografi yang berpengaruh terhadap erosi adalah panjang lereng dan kemiringan lereng.

Semakin panjang lereng, maka volume kelebihan air yang bereaksi di atasnya menjadi lebih besar dan kemudian semua akan turun dengan volume dan kecepatan yang semakin meningkat. Pengaruh panjang lereng sangat bervariasi, tergantung keadaan tanahnya.

Pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa kemiringan lereng lebih penting daripada panjang lereng, karena pergerakan air serta kemampuannya memecahkan dan membawa partikel tanah akan bertambah dengan bertambahnya sudut ketajaman lereng.

Dalam prakteknya nilai L dan nilai S dihitung sekaligus menjadi faktor LS.

Nilai LS untuk suatu tanah dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$LS = \frac{\sqrt{L}}{100} (1.38 + 0.965.S + 0.138.S^2) \quad (2.4)$$

dimana,

L = panjang lereng, m.

S = kemiringan lereng, %.

jagung, kacang tanah, kedelai. Namun demikian tanaman tebu dan ubi kayu juga banyak ditanam. Komposisi tata guna lahan untuk Sub DAS Lesti tertera pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. KOMPOSISI TATA GUNA LAHAN pada Sub DAS LESTI

KODE	TATA GUNA LAHAN	LUAS	
		ha	%
S-1	- persawahan dataran rendah (terutama padi sawah)	1,918.13	4.85
S-2	- persawahan dataran tinggi (terutama padi sawah dan polowijo)	362.57	0.92
H-1	- hutan	9,402.34	23.77
T-1	- tegal tanaman semusim dan tanaman tahunan	7,928.66	20.04
T-2	- tanaman keras	644.45	1.63
D	- lahan perkampungan dan perladangan	5,812.87	14.69
H-3	- semak belukar dan hutan sekunder	330.99	0.84
H-2	- hutan dataran tinggi	541.52	1.37
K-1	- kebun campuran : kelapa, kopi dan coklat	7,960.24	20.12
K-2	- kebun cengkeh dengan rumput penutup tanah	886.55	2.24
K-3	- perkebunan kopi, coklat dan lamtoro sebagai tanaman naungan	1,276.02	3.23
S-3	- sawah 2x padi + sawah dengan tanaman tebu	999.41	2.27
T-3	- tanaman keras, tanaman semusim dan tanaman tahunan	1,594.14	4.03
T o t a l		39,557.89	100.00

BAB IV

PENGENDALIAN EROSI

IV.1. Erosi diperbolehkan

Dimuka telah dibahas bahwa persamaan USLE dapat dipakai sebagai pedoman untuk menentukan tindakan konservasi yang diperlukan guna mengendalikan erosi. Di dalam proses erosi, adalah tidak mungkin untuk menghentikan erosi sama sekali. Oleh karena itu pengendalian erosi tidak ditujukan untuk menghentikan erosi, melainkan untuk menentukan laju erosi ke suatu tingkatan yang tidak merugikan. Nilai erosi ini dikenal dengan istilah *Erosi diperbolehkan* (*Edp*)⁶. Dalam hal ini adalah laju erosi yang masih dapat dibiarkan tanpa mengganggu umur efektif waduk. Berdasarkan perencanaan, laju pengangkutan sedimen yang diperbolehkan pada Waduk Karangates adalah 567 ribu m³/th, dari daerah aliran seluas 2050 km². Tidak semua lahan pada daerah aliran tersebut merupakan sumber sedimentasi, erosi terutama terjadi pada lahan-lahan terbuka. Berdasarkan Laporan Utama - Penelitian Hidro-orologi pada Bendungan Karangates, untuk sub DAS Lesti :

⁶DR. Ir. Wani Hadi Utomo, *KONSERVASI TANAH DI INDONESIA*, 1989, hal.42

$$\begin{aligned}
 - \text{Laju pengangkutan sedimen} &= \frac{39,557.89}{205 \times 10^3} \times 567 \times 10^3 \\
 &= 109\,411.38 \quad \text{m}^3/\text{th} \\
 - \text{Laju erosi} &= \frac{109\,411.38}{\text{SDR}} \\
 (\text{SDR rata-2} = 0.532) &= 205\,660.40 \quad \text{m}^3/\text{th} \\
 (\text{BJ} = 1.12 \text{ ton/m}^3) &= 230\,338.65 \quad \text{ton/th} \\
 &= 5.82 \quad \text{ton/ha/th}
 \end{aligned}$$

Jadi besarnya erosi yang masih diperbolehkan adalah 5.82 ton/ha/th.

Dalam menentukan tindakan konservasi diusahakan hasil perhitungan erosi mendekati harga tersebut di atas.

IV.2. K o n s e r v a s i T a n a h

Kegiatan konservasi tanah adalah kegiatan menjaga tanah agar struktur tanah tidak terdispersi oleh air hujan dan mengatur kekuatan gerak maupun jumlah aliran permukaan.

Berdasarkan kriteria ini ada tiga cara pendekatan dalam kegiatan konservasi tanah ini⁷, yaitu :

- menutup tanah dengan tanaman atau sisa-sisa tanaman, agar terlindung dari daya perusak butir-butir hujan yang jatuh.
- memperbaiki dan menjaga keadaan tanah agar tahan

⁷Sitanala Arsyad, *KONSERVASI TANAH dan AIR*, hal.113, 1989

terhadap penghancuran agregat dan terhadap pengangkutan, disamping memperbesar kemampuan tanah untuk menyerap air pada permukaan tanah.

- mengatur air aliran permukaan agar mengalir dengan kecepatan yang tidak merusak dan memperbesar jumlah air yang meresap ke dalam tanah.

Setiap macam penggunaan tanah mempunyai pengaruh terhadap kerusakan tanah oleh erosi. Teknologi yang diterapkan pada setiap macam penggunaan tanah akan menentukan apakah akan didapatkan penggunaan dan produksi yang lestari dari sebidang tanah.

Ada beberapa metode konservasi tanah yang diantaranya sudah diterapkan pada banyak lokasi di Indonesia ini, metode tersebut diantaranya adalah metode vegetatif dan metode teknik sipil.

IV.2.1. Metode VEGETATIF

Kegiatan konservasi tanah dengan menggunakan metode vegetatif ini didasarkan pada fungsi tanaman dalam melindungi permukaan tanah dari pukulan air hujan dan memperkuat struktur tanah melalui per-akar-annya. Yang termasuk di dalam metode vegetatif untuk konservasi tanah adalah :

- Penanaman tanaman penutup tanah
- Penanaman dalam lajur

- Penanaman tanaman penguat teras
- Pergiliran tanaman
- Penanaman di tepi jurang
- Pemanfaatan sisa-sisa tanaman dan tumbuhan

a. Penanaman tanaman penutup tanah

Metode ini dilakukan dengan tujuan untuk melindungi tanah dari pukulan air hujan, menambah bahan organik tanah dan memperbesar kemampuan tanah dalam menyerap air hujan.

b. Penanaman dalam lajur

Penanaman dalam lajur adalah sistem bercocok tanam dimana beberapa jenis tanaman ditanam dalam lajur-lajur secara berselang-seling pada sebidang lahan yang disusun memotong lereng atau menurut garis kontur.

Biasanya tanaman yang dipergunakan adalah tanaman pangan atau tanaman semusim yang diselingi dengan lajur-lajur tanaman yang tumbuh rapat berupa tanaman penutup tanah.

Dalam sistem ini semua pekerjaan pengolahan tanah dan penanaman dilakukan menurut kontur, dan dapat juga dikombinasikan dengan pergiliran tanaman dan penggunaan sisa-sisa tanaman.

c. Penanaman tanaman penguat teras

Tanaman penguat teras merupakan jenis vegetasi yang karena sifat/cara tumbuhnya dapat berfungsi sebagai penguat teras. Jenis tanaman penguat teras ini dapat berupa pohon-pohonan, perdu atau rumput-rumputan.

d. Pergiliran tanaman

Pergiliran tanaman adalah sistem penanaman berbagai tanaman secara bergilir dalam urutan waktu tertentu pada sebidang lahan.

Pergiliran dapat berupa padi-palawija, padi-penutup tanah. Pada tanah-tanah berlereng, pergiliran yang efektif untuk pencegahan erosi adalah menurut pola tanaman bahan makanan - penutup tanah.

Selain berfungsi sebagai pencegahan terhadap erosi, pergiliran tanaman dapat juga memberikan keuntungan-keuntungan lain, diantaranya yaitu :

- mencegah dan atau menekan populasi hama dan penyakit, melalui pemutusan siklus hidup hama dan penyakit tersebut ataupun mengurangi sumber makanan dan tempat hidupnya.
- memberantas tumbuhan pengganggu (gulma), penanaman satu jenis tanaman tertentu secara terus menerus

dapat meningkatkan pertumbuhan jenis-jenis gulma tertentu pula.

- mempertahankan dan memperbaiki sifat-sifat fisik maupun kesuburan tanah, jika sisa atau potongan tanaman pergiliran dimasukan dalam tanah akan menyebabkan naiknya kemampuan tanah untuk menahan dan menyerap air, mempertinggi stabilitas agregat dan kapasitas infiltrasi tanah.

Suatu sistem pergiliran tanaman yang tersusun baik, selain mempertahankan kesuburan tanah dan menghindari kerusakan tanah juga akan dapat mempertinggi produksi tanaman.

e. Penanaman di tepi jurang

Penanaman tanaman tahunan di tepi jurang dilakukan dengan tujuan untuk menghindari longsor di bibir jurang, sehingga lahan-lahan yang berada di tepi jurang tidak rusak.

f. Pemanfaatan sisa-sisa tanaman

Penggunaan sisa-sisa tumbuhan untuk konservasi tanah dapat berbentuk menjadi mulsa ataupun pupuk hijau. Dengan mulsa maka daun atau batang tumbuhan disebarkan di atas permukaan tanah, sedangkan dengan pupuk hijau maka sisa-sisa tanaman tersebut

dimasukkan ke dalam tanah.

Mulsa mengurangi erosi dengan cara meredam energi hujan yang jatuh sehingga tidak merusak struktur tanah, mengurangi kecepatan dan jumlah aliran permukaan.

IV.2.2. Metoda TEKNIK SIPIL

Metoda ini bisa disebut juga dengan metoda fisik - mekanik karena metoda ini memperlakukan tanah dengan cara fisik - mekanis seperti pembuatan bangunan untuk mengurangi aliran permukaan dan erosi yang sekaligus juga dapat meningkatkan kemampuan penggunaan tanah.

Dalam konservasi tanah metode ini berfungsi untuk :

- memperlambat aliran permukaan
- menampung dan menyalurkan aliran permukaan dengan kekuatan yang tidak merusak
- memperbaiki atau memperbesar infiltrasi air ke dalam tanah

Termasuk dalam metode ini adalah :

a. Pengolahan tanah menurut kontur

Pengolahan tanah adalah setiap usaha memanipulasi tanah yang diperlukan untuk menciptakan keadaan tanah yang baik bagi pertumbuhan tanaman.

Tujuan pokok pengolahan tanah adalah menyiapkan tempat tumbuh bagi bibit, menciptakan daerah

per-akar-an yang baik, memasukkan sisa-sisa tanaman dan memberantas gulma (tanaman pengganggu).

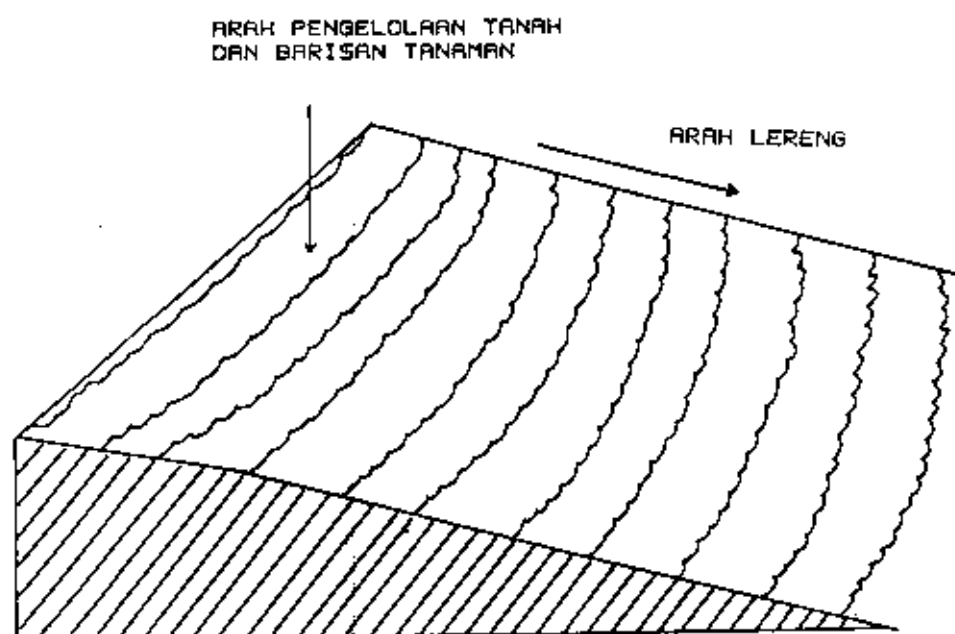
Sebenarnya keuntungan pengolahan tanah dalam konservasi tanah adalah sedikit sekali, dengan mengolah tanah, tanah menjadi gembur dan lebih cepat menyerap air hujan sehingga mengurangi aliran permukaan, akan tetapi pengaruh ini adalah sementara. Tanah yang telah diolah akan menjadi gembur sehingga akan lebih mudah tererosi. Untuk itu dalam mengolah tanah sebaiknya dilakukan pengolahan tanah menurut kontur.

Pada pengolahan tanah menurut kontur, dengan bajak ataupun pacul, akan terbentuk jalur-jalur tumpukan tanah dan alur yang sejajar kontur atau melintang lereng, seperti terlihat pada Gambar 4.1.

Sedangkan bila pengolahan tanah dilakukan menurut lereng, akan terbentuk jalur-jalur tumpukan tanah yang memanjang ke arah bawah lereng, hal ini akan menyebabkan terjadinya erosi, karena alur-alur yang terbentuk di antara tumpukan tanah tersebut akan mengalirkan air dengan cepat ke bawah mengikuti kemiringan lereng.

Jadi pengolahan tanah menurut kontur akan lebih bisa untuk mencegah terjadinya erosi, bila dibandingkan dengan pengolahan tanah menurut lereng. Pengolahan





GAMBAR 4.1. SKETSA PENGOLAHAN TANAH DAN
PENANAMAN MENURUT KONTUR

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI 10 NOPEMBER
SURABAYA

BAMBANG SUHARSONO

391 310 1044

PEMBIMBING : Ir. NAQJAOJI ANWAR MSc.

tanah menurut kontur akan lebih efektif jika diikuti dengan penanaman menurut kontur juga.

Ketuntutan utama pengolahan tanah menurut kontur adalah terbentuknya penghambat aliran permukaan yang memungkinkan penyerapan air dan menghindarkan pengangkutan tanah.

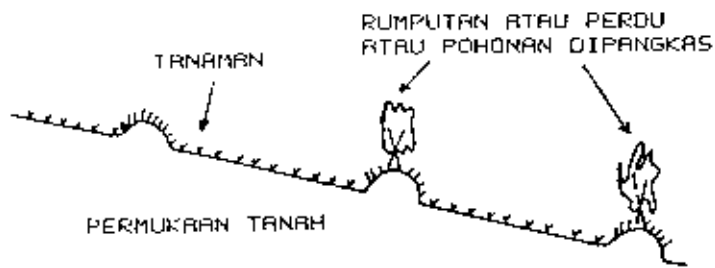
b. G u l u n

Guludan adalah tumpukan tanah yang dibuat memanjang menurut arah garis kontur atau memotong arah lereng. Tinggi tumpukan tanah dibuat sekitar 25 - 30 cm dengan lebar dasar sekitar 25 - 30 cm. Untuk tanah yang kepekatan erosiya rendah, guludan dapat diterapkan pada tanah dengan kemiringan sampai 6%. Penampang guludan dapat dilihat pada Gambar 4.2. Disamping itu guludan harus diperkuat dengan penanaman rumput atau tanaman pohon yang dijaga agar tetap rendah.

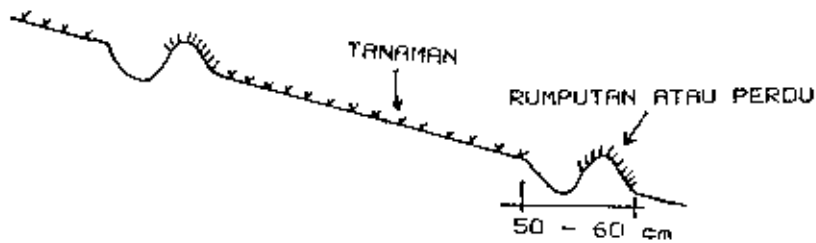
c. Guludan bersaluran

Pada lereng yang lebih curam atau tanah yang lebih peka erosi, guludan saja mungkin tidak akan mampu mengurangi erosi sampai batas yang masih bisa diterima. Dalam keadaan ini dapat dipertimbangkan metode lain yaitu *guludan bersaluran*.

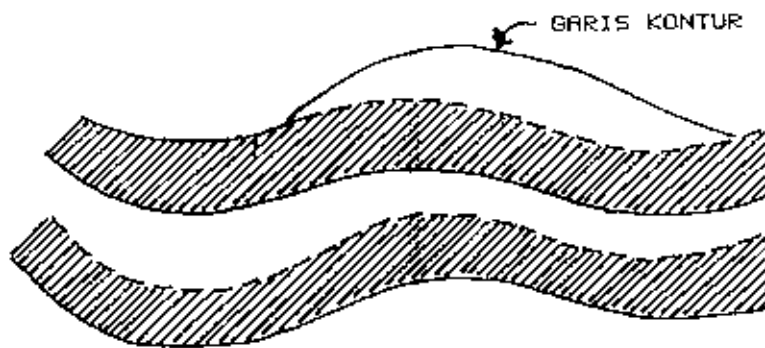
Guludan bersaluran juga dibuat memanjang menurut arah garis kontur atau memotong lereng. Pada guludan



GAMBAR 4.2. G U L U D A N



GAMBAR 4.3. GULUDAN BERSALURAN ATAU
TERAS BERGULUD



GAMBAR 4. PENANAMAN DALAM STRIP/LAJUR



TANAMAN POKOK



TANAMAN PENUTUP TANAH

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI 10 NOPEMBER
S U R A B A Y A

BAMBRANG SUHARSONO

391 310 1044

PENBIMBING : Ir. NADJADJI ANWAR MSc.

bersaluran, di sebelah atas lereng dari guludan dibuat saluran memanjang yang mengikuti kontur, seperti terlihat pada Gambar 4.3.

Dimensi guludan bersaluran sama seperti dimensi guludan biasa, kedalaman saluran adalah 25 - 30 cm, lebar permukaan 30 cm.

Pada metode ini guludan juga diperkuat dengan tanaman rumput, perdu atau pepohonan yang tidak begitu tinggi dan rindang. Guludan ini dapat dibuat pada tanah dengan kemiringan lereng sampai 12%.

d. T e r a s

Maksud pembuatan teras adalah untuk :

- mengubah permukaan lahan yang miring menjadi bertingkat-tingkat,
- mengurangi jumlah dan kecepatan aliran permukaan,
- menahan serta menampung air untuk meningkatkan peresapan air ke dalam tanah.

Dengan pembuatan teras ini maka panjang lereng dan besarnya derajat kemiringan dapat dikurangi, dengan berkurangnya kedua hal tersebut menyebabkan turunnya atau mengecilnya kecepatan dari aliran permukaan. Makin kecil kecepatan aliran permukaan akan makin kecil pula tenaga untuk membuat suatu tanah tererosi, sehingga diharapkan erosi akan ikut berkurang. Di samping itu dengan berkurangnya aliran

permukaan akan memperbesar penyerapan air oleh tanah.

Terdapat beberapa macam teras yang dapat diterapkan dalam usaha konservasi tanah ini, diantaranya yaitu

1. Teras Gulud.

Teras ini merupakan penyempurnaan dari bentuk guludan bersaluran, teras ini dibuat dengan terlebih dahulu membuat guludan melintang lereng, sepanjang guludan sebelah dalam dibuat saluran air untuk mengalirkan dan menampung sedimen hasil erosi. Teras ini dapat dibuat pada lahan dengan kemiringan antara 8-65%.

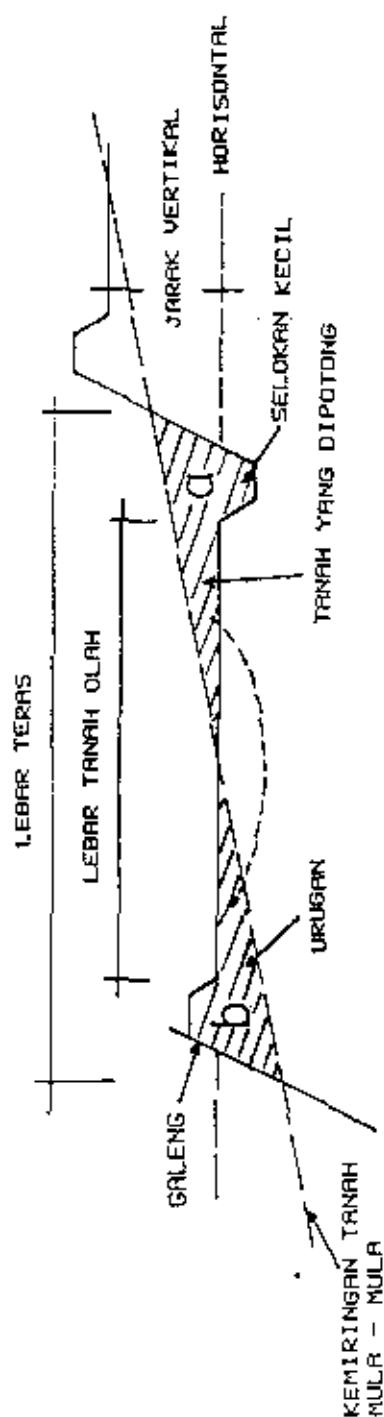
2. Teras Bangku atau Tangga

Teras ini dibuat dengan cara memotong lereng dan meratakan tanah di bagian bawahnya sehingga terbentuk menjadi suatu deretan tangga atau bangku. Pada Gambar 4.5. terlihat penampang teras ini. Teras ini dapat dibuat datar atau miring ke dalam.

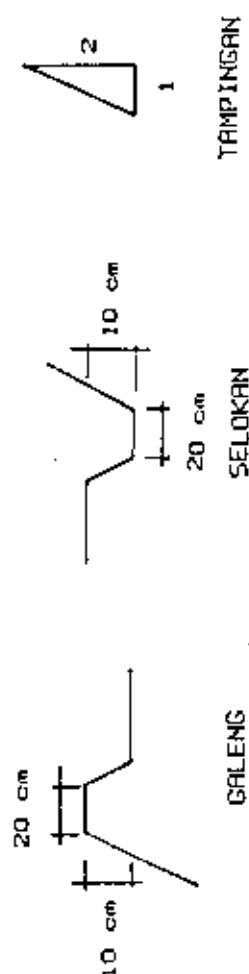
Untuk memperkuat teras, pada bagian ujung teras harus ditanami dengan tanaman penguat teras, misalnya rumput.

e. Saluran Pembuangan Air

Saluran ini merupakan kelengkapan yang harus ada dalam pembuatan teras, dibuat searah lereng,



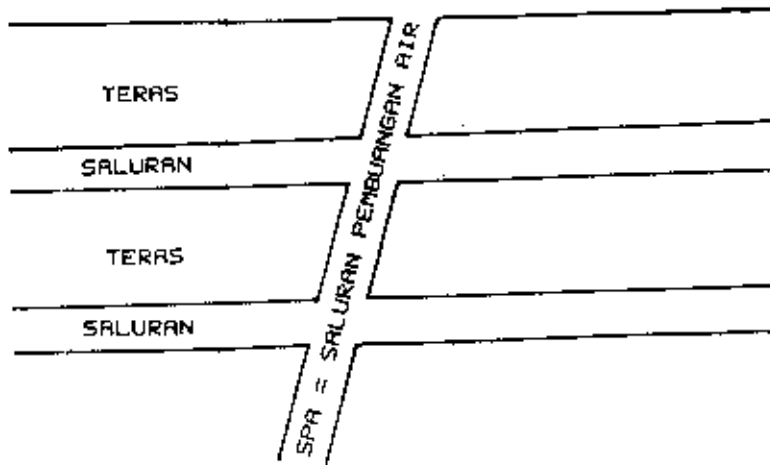
GAMBAR 4.5. PENAMPANG MELINTANG TERRAS BANGKU



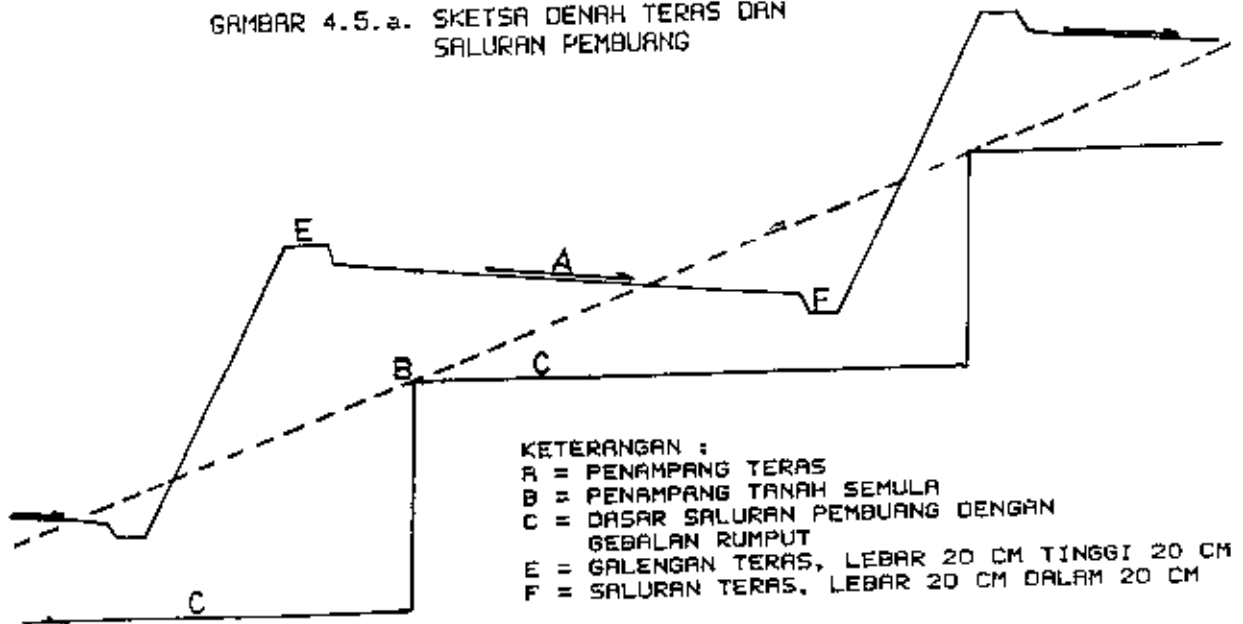
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI 10 NOPEMBER
SURABAYA

BAMBANG SUHARSONO 391 310 10-14

PEMBIMBING : Ir. NAQIJUJI ANWAR MSc.



GAMBAR 4.5.a. SKETSA DENAH TERAS DAN SALURAN PEMBUANG



GAMBAR 4.5.b. PENAMPANG TERAS BANGKU DAN SALURAN PEMBUANG

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI 10 NOPEMBER
SURABAYA

BAMBANG SUHARSONO

391 310 1044

PEMBIMBING : Ir. NADJADI ANWAR MSc.

dalam pembuatan teras, dibuat searah lereng, memotong garis kontur. Bangunan ini dibuat untuk mengalirkan aliran air permukaan agar tidak sampai merusak teras yang telah dibuat.

Untuk mengurangi daya rusak akibat aliran air dalam saluran ini, dibuat bangunan terjun secara bertingkat dari bagian atas sampai bawah, yang bisa dibuat dari bambu atau batukali. Penampang bangunan terjun bisa dilihat pada Gambar 4.6.

IV.3. Perhitungan perkiraan besarnya erosi lahan

Pada perhitungan perkiraan besarnya erosi lahan di halaman depan, perhitungan dilakukan dengan tanpa mengikutsertakan tindakan konservasi tanah ini, yang juga berarti nilai tindakan konservasi tanah (P) = 1.

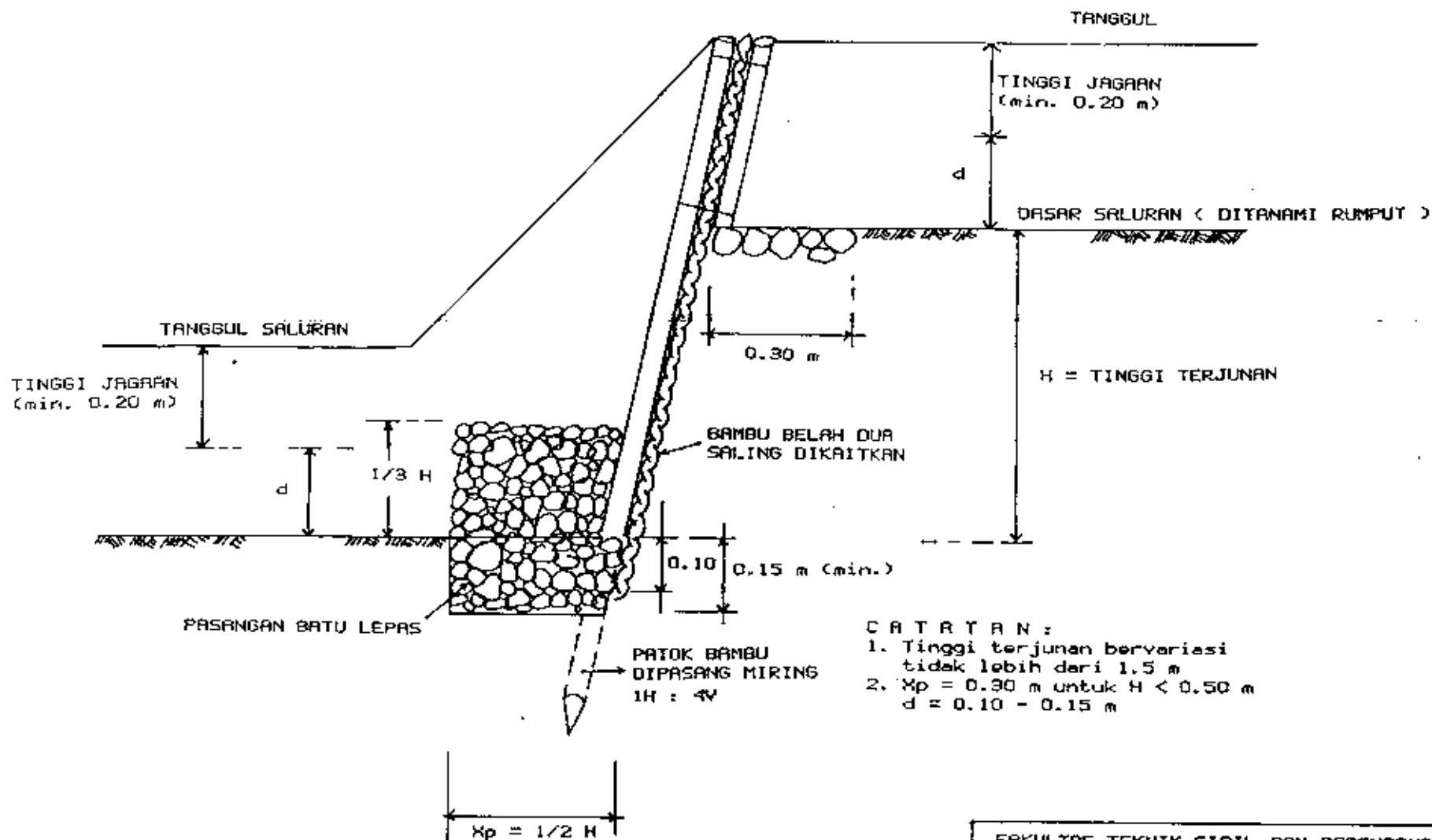
Dan sekarang, dengan adanya tindakan konservasi dan sekaligus memasukkan harga P ini kedalam perhitungan erosi lahan, diharapkan besarnya erosi lahan yang terjadi pada DAS Lesti dapat berkurang.

Harga P untuk tiap-tiap tindakan terdapat pada Tabel 2.6.

Contoh perhitungan :

No. Unit lahan : 32

Sebelum adanya tindakan konservasi, berdasarkan tata guna lahan, lahan ini dipergunakan untuk perkebunan kopi, coklat dan lamtoro sebagai tanaman naungan yang mempunyai



CATATAN :

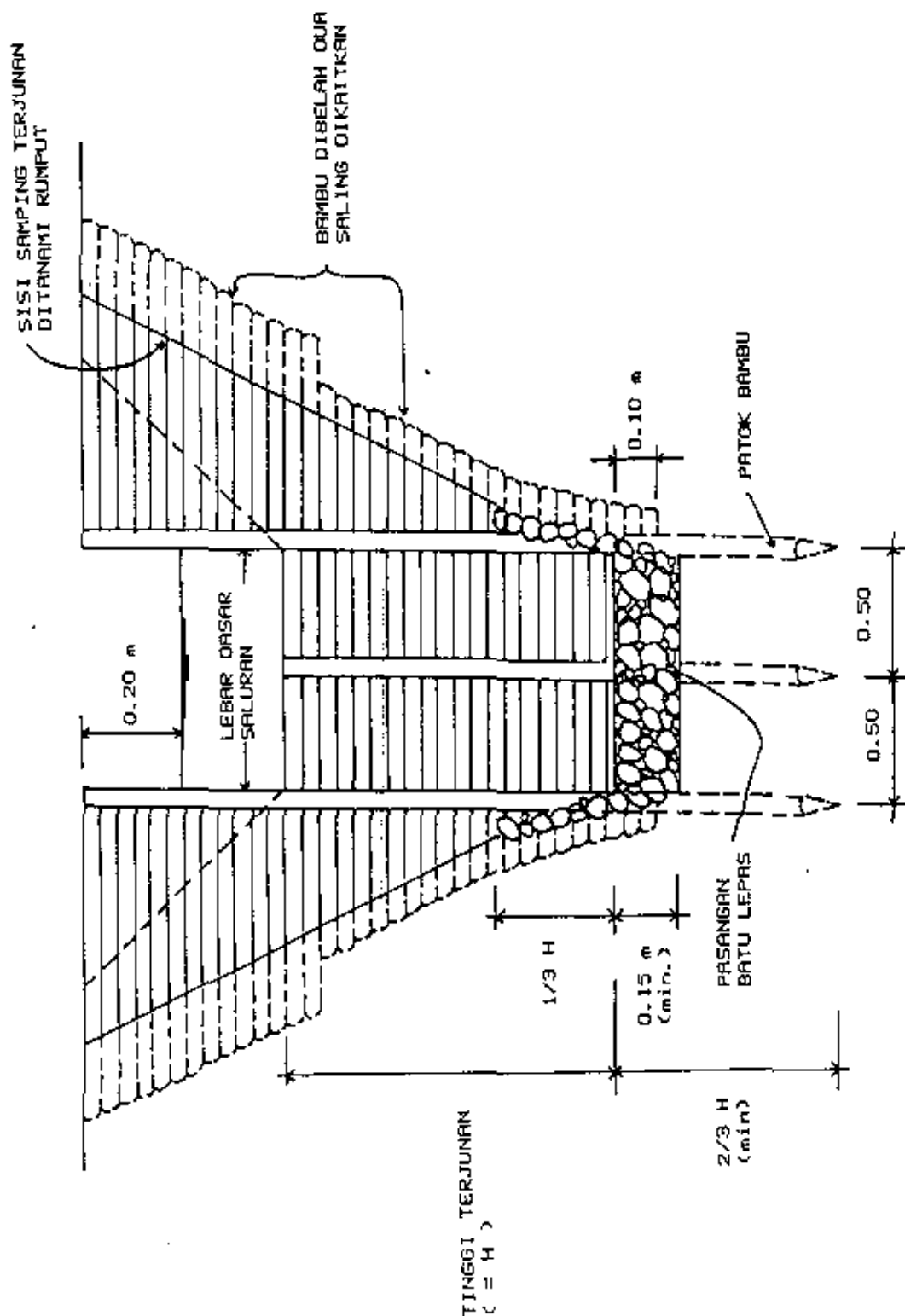
1. Tinggi terjunan bervariasi tidak lebih dari 1.5 m
2. $X_p = 0.30$ m untuk $H < 0.50$ m
 $d = 0.10 - 0.15$ m

GAMBAR 4.6. PENAMPANG MELINTANG
TERJUNAN BAMBU

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI 10 NOPEMBER
SURABAYA

BAMBANG SUHARSONO 391 310 1044

PEMBIMBING : Ir. NADJAOJI ANWAR MSc.



GAMBAR 4.6.a. TERJUNAN BAMBU TAMPAK DEPAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI 10 NOPEMBER
SURABAYA

BAMBANG SUHARSONO 391 310 1044

PEMBIMBING : Ir. NADJADJI ANWAR MSc.

harga $C = 0,2$, kemudian dilihat juga pada peta jenis tanah maka lahan ini termasuk jenis tanah Latosol ($K = 0,17$), selanjutnya karena lahan ini termasuk pada daerah dengan kemiringan $S = 15\%$ dan L rata-rata = 1000 m maka dari rumus (2.4) didapatkan harga $LS = 14,833$, untuk distribusi hujan lahan ini termasuk pada lingkup areal stasiun, hujan Dampit yang mempunyai indeks erosivitas tahunan (R) = 1423,33.

Tindakan konservasi yang cocok untuk lahan ini adalah dengan menanam tanaman penutup tanah yang mempunyai harga $CP = 0,01$.

Sehingga besarnya erosi yang terjadi, berdasarkan persamaan (2.2) didapatkan

$$\begin{aligned} A &= R \times K \times LS \times CP \\ &= 1423.33 \times 0.17 \times 14.833 \times 0.01 \\ &= 35.89 \text{ ton/ha/th} \end{aligned}$$

Perhitungan untuk unit-unit lahan lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.1.1.

Sedangkan perhitungan prakiraan besarnya erosi lahan yang terjadi setelah diadakan tindakan konservasi dapat dilihat pada Tabel 4.1.2.

Tabel 4.1.1. Pengaturan lahan pada DAS Lest1

Unit lahan	Tata guna lahan yang ada	Tindakan Rehabilitasi	Nilai P
5,4	- tanaman keras (kopi, cengkeh, kelapa)	- penanaman tanaman penutup tanah (kerapatan tinggi)	0.10
6,7,8	- tegal tanaman semusim dan tanaman tahunan	- teras bangku, kondisi baik	0.04
14,15,17 46,47,48	- tegal tanaman semusim dan tanaman tahunan	- pengolahan tanah dan penanaman menurut kontur, lereng 0-8%	0.50
20,40,41 53,54,21	- tegal tanaman semusim dan tanaman tahunan	- pengolahan tanah dan penanaman menurut kontur, lereng 0-8%	0.50
9,11	- persawahan dataran tinggi	- teras bangku, kondisi baik	0.04
10,12,13	- persawahan dataran rendah	- pengolahan tanah dan penanaman menurut kontur	0.50
16,18,19 22,25	- lahan perkampungan dan ladang	- penanaman rumput dalam lajur keadaan pertumbuhan baik	0.04
23,24,51 52,26,27 28	- sawah dua kali padi + sawah dengan tanaman tebu	- pengolahan tanah dan penanaman menurut kontur	0.50
29,33,34	- sawah belukar dan hutan sekunder	- tidak ada	1.00
30,31	- tanaman keras, tanaman semusim dan tanaman tahunan	- penanaman rumput dalam lajur keadaan pertumbuhan baik	0.04
32,35,36	- perkebunan kopi, coklat dan lontoro sebagai tanaman naungan	- penanaman rumput dalam lajur keadaan pertumbuhan baik	0.04
37,38,43 45	- kebun campuran : kelapa, kopi dan coklat	- penanaman tanaman penutup tanah (kerapatan tinggi)	0.10
44	- hutan dataran tinggi	- tidak ada	1.00
49,50 1,2,5	- hutan lindung	- tidak ada	1.00
33,42	- kebun cengkeh dengan rumput penutup tanah	- penanaman tanaman penutup tanah (kerapatan tinggi)	0.10

TABEL 4.1.2. PERHITUNGAN PERKIRAAN BESARNYA EROSI PADA DAS. LESTI

DAERAH	R	K	L _s	C	P	R	L _{max}	ton/ha	EROSI LAHAN	SOR	ton/ha	POTENSIAL
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	944.61	0.09	23.995	0.001	1.00	2.04	6.649.35	15.567.10	12.113.48	55.61	7.534.66	6.736.31
2	944.61	0.16	23.995	0.001	1.00	2.65	987.97	5.583.68	3.139.71	55.61	7.534.66	6.736.31
3	944.61	0.16	23.995	0.100	0.10	36.27	495.73	17.981.59	16.055.08	61.17	10.933.40	9.820.89
4	944.61	0.03	23.995	0.100	0.10	20.40	148.72	3.034.43	2.709.31	64.80	1.966.31	1.755.63
5	944.61	0.22	5.776	0.001	1.00	1.20	488.43	586.40	523.57	58.38	342.34	305.66
6	944.61	0.09	5.776	0.200	0.04	9.93	101.06	737.08	354.54	63.73	289.30	266.16
7	944.61	0.22	5.776	0.200	0.04	9.60	131.37	1.261.77	1.126.58	62.23	785.20	701.07
8	944.61	0.09	5.776	0.200	0.04	7.86	373.94	1.463.29	1.311.86	62.23	864.97	772.29
9	944.61	0.16	5.776	0.400	0.04	4.37	62.40	647.53	578.15	65.96	427.24	381.47
10	944.61	0.24	5.776	0.400	0.04	4.37	152.04	663.77	592.65	62.23	413.07	369.61
11	944.61	0.24	5.776	0.400	0.04	20.06	280.17	5.871.17	5.242.11	61.30	3.599.03	3.215.42
12	944.61	0.24	5.776	0.010	0.50	6.55	318.72	5.361.52	4.787.08	57.15	3.064.11	2.735.81
13	944.61	0.24	5.776	0.010	0.50	4.22	347.57	3.999.95	3.571.39	54.17	2.166.78	1.934.62
14	944.61	0.24	3.724	0.200	0.50	84.44	727.65	61.445.20	54.861.78	54.48	23.475.34	29.688.70
15	944.61	0.24	3.724	0.200	0.50	77.41	515.41	33.896.03	25.621.45	55.44	22.118.36	19.748.52
16	944.61	0.24	3.724	0.010	0.04	0.34	855.48	26.682.40	24.002.14	54.27	156.62	140.02
17	944.61	0.28	3.724	0.200	0.50	98.52	272.87	26.682.40	24.002.14	54.27	15.425.12	13.772.43
18	944.61	0.26	3.724	0.010	0.04	0.35	197.42	77.80	69.46	58.76	45.71	40.82
19	1.180.48	0.28	3.724	0.010	0.04	0.49	504.51	248.40	221.79	55.73	139.43	123.60
20	1.180.48	0.28	3.724	0.200	0.50	123.09	212.22	26.122.37	23.523.55	58.22	15.208.45	13.578.97
21	1.180.48	0.28	3.724	0.200	0.50	123.09	212.22	26.122.37	23.523.55	58.22	15.208.45	13.578.97
22	1.180.48	0.28	3.724	0.010	0.04	0.49	1.920.64	896.42	800.37	52.43	463.99	419.64
23	1.180.48	0.26	3.724	0.010	0.50	6.15	36.71	225.93	201.73	63.11	142.59	127.31
24	1.180.48	0.17	3.724	0.010	0.50	3.74	24.47	91.44	61.64	53.41	53.04	53.04
25	1.423.33	0.26	14.833	0.010	0.04	0.59	2.434.62	1.445.44	1.290.57	51.79	748.59	669.29
26	1.423.33	0.17	14.833	0.010	0.50	17.35	148.75	6.258.46	5.587.81	59.76	748.59	669.29
27	1.423.33	0.28	14.833	0.010	0.50	29.56	104.01	3.074.24	2.744.86	63.21	1.343.23	1.175.02
28	1.423.33	0.28	14.833	0.010	0.50	29.56	176.22	5.267.68	4.703.28	64.67	1.343.23	1.175.02
29	1.423.33	0.28	14.833	0.005	1.00	14.36	1.226.42	19.042.53	17.002.26	58.24	3.234.40	2.941.43
30	1.423.33	0.17	14.833	0.100	0.04	23.65	267.72	6.330.43	5.652.17	62.40	11.030.37	9.902.11
31	1.423.33	0.26	14.833	0.100	0.04	28.71	718.43	20.628.04	18.417.89	59.37	3.950.19	3.526.96
32	1.423.33	0.17	14.833	0.200	0.04	17.95	67.69	1.218.31	1.087.78	65.82	12.346.97	10.934.70
33	1.423.33	0.17	14.833	0.005	1.00	29.56	84.62	2.508.61	2.240.01	65.00	801.99	715.98
34	1.423.33	0.28	14.833	0.005	1.00	47.29	107.27	5.071.06	4.527.73	65.00	1.330.73	1.156.01
35	1.423.33	0.25	14.833	0.200	0.04	43.22	450.36	19.016.29	16.978.78	60.56	3.234.40	2.941.43
36	1.423.33	0.25	14.833	0.100	0.10	52.78	1.074.52	96.713.85	50.637.36	58.48	11.548.23	10.282.35
37	1.423.33	0.17	3.724	0.100	0.10	9.01	2.905.60	26.181.85	23.376.64	51.42	13.462.70	12.020.27
38	1.423.33	0.17	3.724	0.200	0.10	18.02	534.20	9.627.16	8.595.68	55.67	3.234.40	2.941.43
39	1.423.33	0.28	3.724	0.200	0.50	148.41	1.000.51	148.489.16	152.579.60	57.66	79.673.28	71.442.22
40	1.423.33	0.17	3.724	0.200	0.50	90.11	2.402.09	189.414.53	169.120.17	51.93	98.263.00	87.824.11
41	1.423.33	0.22	5.770	0.200	0.10	36.14	352.36	12.732.34	11.369.16	53.39	7.581.74	6.751.55
42	1.423.33	0.22	5.770	0.100	0.10	11.66	3.453.82	40.275.20	35.960.00	51.07	20.568.54	18.364.77
43	1.423.33	0.22	5.770	0.001	1.00	0.74	541.52	400.26	357.37	59.20	235.95	211.56
44	1.423.33	0.09	5.770	0.100	0.10	7.39	526.30	7.690.07	3.473.28	58.14	2.281.63	2.018.36
45	1.423.33	0.09	5.770	0.200	0.50	73.91	320.19	7.710.16	54.026.93	66.37	40.423.02	36.091.98
46	1.423.33	0.22	5.770	0.200	0.50	180.68	121.27	27.510.16	19.563.16	62.52	13.686.61	12.030.90
47	1.423.33	0.22	5.770	0.001	1.00	1.81	151.53	27.588.90	24.454.38	61.73	15.907.17	15.095.69
48	1.423.33	0.22	5.770	0.001	1.00	1.81	122.13	220.64	197.00	62.83	139.63	123.78
49	1.423.33	0.09	5.770	0.001	1.00	0.74	1.254.48	853.32	761.89	50.18	479.38	428.03
50	1.423.33	0.17	5.770	0.010	0.50	6.96	238.62	1.665.74	1.487.27	50.72	978.12	873.32
51	1.423.33	0.17	5.770	0.010	0.50	6.96	79.54	555.25	495.76	62.23	345.53	308.51
52	1.423.33	0.17	5.770	0.010	0.50	116.61	771.50	89.955.06	60.325.95	54.57	49.033.93	43.833.87
53	1.423.33	0.22	3.724	0.200	0.50	116.61	264.79	30.876.15	27.567.99	57.79	17.840.24	15.928.70
54	1.423.33	0.22	3.724	0.200	0.50	116.61	264.79	30.876.15	27.567.99	57.79	17.840.24	15.928.70
Jumlah	59,557.09	1,065,443.58	951,288.91	593,106.01	529,558.94							

IV.4. Sedimentasi waduk setelah tindakan konservasi

IV.4.1. Tinjauan pada Waduk Sengguruh

Dengan adanya tindakan konservasi lahan di DAS Lesti, ternyata hasil total erosi lahan yang terjadi menjadi $529\,558.94\text{ m}^3/\text{th}$, sedangkan hasil erosi lahan yang terjadi sebelum adanya tindakan konservasi adalah sebesar $2\,743\,696.49\text{ m}^3/\text{th}$. Jadi dengan tindakan konservasi lahan ternyata bisa menekan laju erosi, hal ini memberikan keuntungan terutama terhadap umur efektif Waduk Sengguruh dan sekaligus Waduk Karangates.

Dalam perencanaan awal Waduk Sengguruh dapat dimanfaatkan sampai 50 tahun, tetapi karena adanya erosi lahan (sheet erosion) yang terjadi cukup besar, membuat umur efektif waduk menjadi sekitar 22,78 tahun, dengan berkurangnya erosi lahan di atas tentunya umur efektif waduk akan bisa bertambah.

Perhitungannya adalah sebagai berikut :

Pemasukan tahunan	$= 1\,740 \times 10^6\text{ m}^3/\text{th}$
Kapasitas tampungan mati	$= 11.7 \times 10^6\text{ m}^3\text{ (1994)}$
Luas DAS	$= 1\,659\text{ km}^2$
Kapasitas tampungan waduk	$= 14.2 \times 10^6\text{ m}^3\text{ (1994)}$
Sediment masuk pertahun	:
- Sub Basin Brantas	$= 0.89 \times 10^6\text{ m}^3/\text{th}$
- Sub Basin Lesti	$= 529\,558.94\text{ m}^3/\text{th}$

$$\text{Total} = 1\,419\,558.94 \text{ m}^3/\text{th}$$

Harga C/I didapatkan = 0.008

Berdasarkan persamaan (4.1) efisiensi tangkapan

$$Y = 100 \times \left[1 - \frac{1}{1 + 100 \times 0.012} \right]^{1.5}$$
$$= 29.63 \%$$

Sediment mengendap pertahun

$$= 29.63 \% \times 1\,419\,558.94 \text{ m}^3$$
$$= 420\,610.06 \text{ m}^3$$

Sediment lolos per-tahun

$$= 1\,419\,558.94 - 420\,610.06$$
$$= 998\,948.88 \text{ m}^3$$

$$\text{Waktu penuh} = \frac{1.17 \times 10^6}{420\,610.06}$$

$$= 2.78 \text{ tahun}$$

Hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.1.3.

IV.3.2 Tinjauan pada Waduk Karangkates

Seperti pada perhitungan sebelumnya, dimana sediment yang masuk ke dalam Waduk Karangkates berasal dari rata-rata sediment yang lolos dari Waduk Sengguruh ditambah dengan Remaining Basin Sengguruh - Karangkates.

Sebelum adanya tindakan konservasi, sediment yang masuk ke Waduk Karangkates adalah sebesar $2\,954\,998.82\text{ m}^3/\text{th}$. Dengan adanya pengurangan erosi yang terjadi pada DAS Lesti menyebabkan besarnya sediment yang masuk ke Waduk Sengguruh akan berkurang juga, yang sekaligus membuat sediment yang lolos ikut berkurang. Hal ini mengurangi masukan sediment ke Waduk Karangkates, perinciannya adalah sebagai berikut :

- rata-rata sedimen yang lolos dari Waduk Sengguruh

$$= 1\,071\,203.65\text{ m}^3/\text{th}$$

- remaining basin Sengguruh-Karangkates

$$= 0.213 \times 10^6\text{ m}^3/\text{th}$$

$$\text{T o t a l} \quad = 1\,284\,203.65\text{ m}^3/\text{th}$$

Perhitungan selanjutnya adalah perhitungan umur guna/ umur efektif daripada waduk, dapat dilihat pada Tabel 4.1.4.

B A B V
A N A L I S A B I A Y A

V.1. Perkiraan perhitungan biaya pelaksanaan tindakan konservasi tanah

Dalam menghitung besarnya biaya yang harus dikeluarkan untuk melaksanakan tindakan konservasi, sebagai harga acuan adalah standart biaya yang sudah ditetapkan pihak Sub BRLKT (Balai Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah).

Standart biaya untuk berbagai tindakan konservasi dapat dilihat pada Tabel 5.1. - 5.4.

Perhitungan beaya konservasi tertera pada Tabel 5.1.1

Setelah dilakukan perhitungan total besarnya beaya konservasi adalah sekitar Rp.10.074 milyar.

Tabel S.1. Rincian biaya teras bangku

Jenis kegiatan	Bahan	Tenaga kerja (Hok)	Jumlah biaya (Rp)
A. Persiapan			
- Perencanaan	1 unit	10	17500
B. Pelaksanaan			
- Penggalan tanah	Ajir 650 Bt	60	106250
- Penguat teras	4000 Stek		40000
- Pembuatan SPA	Ajir 100 Bt	20	32500
- Bangunan terjunan	Batu 10 m3	13	107500
	Jumlah		303750
	Dibulatkan		304000

Tabel 5.2. Rincian biaya kegiatan Penanaman Penutup Tanah

Jenis tanaman	S e p e r d i			Tenaga kerja (hok)	Jumlah biaya (Rp)
	Bibit (stek)	Pupuk (kg)	Obat2an (kg/lt)		
A. Tanaman tahunan					
- Sengon	680	40		25	112000
B. Tanaman penutup tanah/ pupuk hijau	30	15			21500
C. Hijauan makanan ternak - rumput gajah	6500				68000
				Jumlah	201500
				Dibulatkan	202000

Tabel 5.3. Rincian biaya kegiatan Penanaman Menurut Kontur

Jenis tanaman	S a p r o d i			Tenaga kerja (hok)	Jumlah biaya (Rp)
	Bibit (stek)	Pupuk (kg)	obat2an (kg/lt)		
A. Tanaman tahunan					300000
- Tanaman Industri/buah-2an					
- Mangga, Pete, Cengkeh	100	2000	1	15	
- Tanaman kayu-2an					
- Sengon	230				
B. Tanaman semusim					152000
- Jagung	25		2		
- Kacang tanah	30				
- Ketela pohon	3000				
C. Hewan makanan ternak					25000
- rumput gajah	2500				
			Jumlah		477000
			Dibulatkan		477000

Tabel S.4. Rincian biaya kegiatan Penanaman Rumput

Jenis tanaman	S e p r o d i			Tenaga kerja (hok)	Jumlah biaya (Rp)
	Bibit (stek)	Pupuk (kg)	Obat2an (kg/lt)		
R. Hijauan makanan ternak					
- rumput gajah	32000			10	349000
				Jumlah	349000
				Dibulatkan	349000

V.2. Perhitungan Benefit PLTA Karangkates

Dalam menghitung besarnya benefit yang didapat PLTA Karangkates, perhitungan dilakukan pada keadaan eksisting, bekerja pada beban puncak sebesar 105 MW (3 x 35 MW).

Menentukan harga kapasitas (capacity value) dan harga energi (energy value)

Dalam menentukan harga kapasitas dipilih PLTU Gresik sebagai alternatif plant.

Dan dalam menentukan harga energi berdasarkan pada harga konsumsi bahan bakar untuk membangkitkan energi per Kwh.

Harga bahan bakar pada saat ini adalah US \$ 0.175 per liter. Perhitungannya dapat dilihat pada tabel 5.8.

Perhitungan benefit dari Waduk Karangkates bisa dilihat pada Tabel 5.5, 5.7 dan 5.8.

Sedangkan perhitungan total keuntungan dapat dilihat pada tabel 5.10 - 5.12.

Tabel 5.6. Faktor penyesuaian

Faktor kehilangan	Prosentase	
	PLTA	PLTU
Kehilangan pada transmisi (kehil. pd. sta. primer)	4	2
Tenaga yang keluar	0.5	5
Perbaikan	2	15
Pemakaian alat pembantu	0.4	6

Faktor penyesuaian kapasitas (capacity adjustment factor)

$$\frac{(1 - 0.04) (1 - 0.005) (1 - 0.02) (1 - 0.004)}{(1 - 0.02) (1 - 0.05) (1 - 0.15) (1 - 0.008)} = \frac{\text{PLTA}}{\text{PLTU}} = 1.253$$

Faktor penyesuaian energi (energy adjustment factor)

$$\frac{(1 - 0.04) (1 - 0.004)}{(1 - 0.02) (1 - 0.08)} = \frac{\text{PLTA}}{\text{PLTU}} = 1.04$$

- Sumber data : Review Report on Feasibility Study on
Sengguruh Hydropower Development Project Vol.1-Feb 1982

Tabel 5.8. Perhitungan harga energi (energy value)

Harga bahan bakar	= US \$ 0.175/liter	
Kapasitas tower	= 100 x 1 unit	
Faktor pembangkitan	= 70 %	
Produksi per-tahun	= 613 x 10 ⁶ Kw	
Untuk service station	= 7 %	
Energi yang tersedia per-tahun	= 570 x 10 ⁶ Kw	
Kebutuhan bahan bakar per-tahun	= 166 x 10 ⁶ liter	
Faktor penyesuaian untuk energi	= 1.04	
	PLTA	PLTU
Kehilangan pada primary station	4.0 %	2.0 %
Penggunaan power pembantu	0.3 %	6.0 %
Harga energi	$= \frac{0.175 \times 166 \times 10^6}{570 \times 10^6} \times 1.04$	
	= US \$ 0.053 / Kwh	

Sumber : Rough Cost Estimate for Sengguruh Hydropower Project

Tabel 5.5. Biaya konstruksi Alternatif PLTU Gresik < 100 MW >

Tahun Pembangunan	Pengeluaran per tahun < US \$ >	Interest rate				
		8%	9%	10%	12%	16%
Tahun ke-1	327,581,828	327,581,828	327,581,828	327,581,828	327,581,828	327,581,828
Tahun ke-2	317,264,034	293,762,934	291,067,921	286,421,649	283,271,453	279,503,477
Tahun ke-3	820,142,578	703,140,070	690,297,599	677,803,783	659,912,642	631,073,082
Tahun ke-4	160,007,179	127,019,957	123,554,900	120,215,762	113,989,949	108,000,288
Tahun ke-5	3,759,323	2,763,215	2,663,199	2,567,568	2,369,119	2,225,821
Total PM < US \$ >	1,628,754,941	1,454,266,964	1,435,165,447	1,416,590,890	1,380,944,935	1,347,182,803
Unit cost < US \$/Kw >	16,288	14,543	14,352	14,166	13,809	13,472
						13,152

Catatan :

- PM = Present Worth (nilai sekarang)

Tabel 5.7. Perhitungan harga kapasitas (capacity value) US \$/KW

U R A I A N	Interest rate					
	8%	9%	10%	12%	14%	16%
Biaya konstruksi per unit pada tahun 1994/1995 (US \$/Kw)	14,543	14,352	14,166	13,809	13,472	13,152
Biaya per tahun :						
-Capital recovery factor	0.10185	0.10954	0.11745	0.13327	0.15098	0.16867
-Total biaya	1,481.17	1,572.08	1,663.79	1,848.67	2,033.98	2,219.90
-O & M	120.96	120.96	120.96	120.96	120.96	120.96
Faktor pengesuaian kapasitas	1.253	1.253	1.253	1.253	1.253	1.253
Marga kapasitas	2,007.47	2,121.98	2,236.29	2,467.95	2,700.14	2,931.09

* Biaya O & M untuk PLTU = 2.52 %

O & M = $483.820.396.8 \times 2.5\% = 120.96$ US \$

- Capital Recovery Factor (CRF) = Faktor Pengembalian Modal (20 tahun)

- Sumber data : Rough Cost Estimate for Sengguruh Hydropower, October 1982

* Pengembalian Sumber Daya Air, Ir. Nedjadjji Anwar MSc. hal-152

Tabel 5.9. Perhitungan Benefit PLTA Karangates

U R R I A N	Satuan	Interest rate				
		8%	9%	10%	12%	14%
Keuntungan kapasitas :						
- Harga kapasitas	US \$/Kw	2,007.47	2,121.38	2,236.29	2,467.95	2,700.14
- Kapasitas operasi	10 ³ Kw	89.25	89.25	89.25	89.25	89.25
- Keuntungan per-tahun	10 ³ US \$	179,166.70	189,333.11	199,588.59	220,264.33	240,987.10
Keuntungan energi :						
- Harga energi	US \$/Kwh	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053
- Energi tahunan	10 ⁶ Kwh	163	163	163	163	163
- Keuntungan per-tahun	10 ³ US \$	8.639	8.639	8.639	8.639	8.639
Total keuntungan per-tahun	10 ³ US \$	179,175.34	189,341.75	199,597.23	220,272.97	240,995.74
Biaya O & M	10 ³ US \$	11,264.01	13,846.83	16,429.65	23,887.02	34,365.63
Keuntungan bersih per-tahun	10 ³ US \$	167,911.33	175,494.92	183,167.58	196,385.95	206,630.11
Rupiah		3.69E+11	3.86E+11	4.03E+11	4.32E+11	4.55E+11
						4.67E+11

Tabel 5.10. Beaya Kapital PLJA Karangates (1000 US \$)

U R A I A N	Interest Rate												
	8%	9%	10%	12%	14%	16%							
1. Pembiayaan pd. th. 1962-1968													
PMF	Harga kap.	PMF	Harga kap.	PMF	Harga kap.	PMF	Harga kap.	PMF	Harga kap.	PMF	Harga kap.	PMF	Harga kap.
26,929.00	26,929.00	26,929.00	26,929.00	26,929.00	26,929.00	26,929.00	26,929.00	26,929.00	26,929.00	26,929.00	26,929.00	26,929.00	26,929.00
Beda proyek selama th.1968-1972													
1968	2500	1.469	3,820.25	1.529	4,000.42	1.611	4,187.30	1.762	4,582.09	1.925	5,006.08	2.100	5,460.89
1969	7688	1.560	10,459.44	1.642	10,852.24	1.724	11,256.00	1.806	11,659.76	1.888	12,063.52	1.971	12,467.28
1970	11973	1.260	15,082.53	1.295	15,505.38	1.331	15,928.23	1.405	16,421.20	1.482	17,006.53	1.561	17,688.61
1971	13201	1.166	15,397.65	1.188	15,684.11	1.210	15,973.21	1.254	16,559.33	1.300	17,153.02	1.346	17,763.27
1972	5781	1.080	6,243.48	1.090	6,301.29	1.100	6,359.10	1.120	6,474.72	1.140	6,590.34	1.160	6,705.96
Total beaya tahun 1972	77,932.35	79,272.44	80,640.70	82,063.56	83,463.56	84,840.69	86,404.69	87,967.92	89,467.92	90,967.92	92,467.92	93,967.92	95,467.92
Nilai sisa	3,350.00	3,350.00	3,350.00	3,350.00	3,350.00	3,350.00	3,350.00	3,350.00	3,350.00	3,350.00	3,350.00	3,350.00	3,350.00
Sub total <1>	74,582.35	75,922.44	77,290.70	78,713.56	80,113.56	81,490.69	82,913.69	84,337.92	85,762.92	87,187.92	88,612.92	89,937.92	91,362.92
2. Beaya proyek th.1972-1975													
1972	2062	1.080	2,226.96	1.090	2,247.58	1.100	2,268.20	1.120	2,309.44	1.140	2,350.68	1.160	2,391.92
1973	2421	1.000	2,421.00	1.000	2,421.00	1.000	2,421.00	1.000	2,421.00	1.000	2,421.00	1.000	2,421.00
1974	4743	0.926	4,391.67	0.917	4,351.38	0.909	4,311.82	0.893	4,274.62	0.877	4,230.53	0.862	4,186.79
1975	3344	0.867	3,361.34	0.842	3,319.59	0.826	3,279.50	0.797	3,144.13	0.769	3,009.78	0.743	2,971.03
Sub total <2>	12,420.97	12,339.54	12,260.52	12,189.33	12,109.33	12,029.33	11,949.33	11,869.33	11,789.33	11,709.33	11,629.33	11,549.33	11,469.33
Total <1> + <2>	87,003.32	88,261.98	89,551.22	90,842.89	92,222.89	93,612.89	95,003.89	96,394.89	97,785.89	99,176.89	100,567.89	101,958.89	103,349.89
Beaya kapital th.1945/1996													
4.651	405,518.75	5.604	494,656.41	6.727	602,455.84	7.849	710,256.27	8.971	818,056.70	10.093	925,857.13	11.215	1,033,657.56
Rp.	8,925.11	1,096.12	1,336.12	1,576.12	1,816.12	2,056.12	2,296.12	2,536.12	2,776.12	3,016.12	3,256.12	3,496.12	3,736.12

Tabel 5.12. Biaya dan keuntungan kapital

U R I R N	Interest Rate							
	8%	9%	10%	12%	14%	16%		
	PUF	Harga kap.	PUF	Harga kap.	PUF	Harga kap.	PUF	Harga kap.
<hr/>								
1. Biaya kapital								
- PLTA Karangates	8.42E+11	1.09E+12	1.33E+12	1.96E+12	2.87E+12	4.19E+12		
- Pindakan konservasi	7.59E+09	7.35E+09	7.14E+09	6.74E+09	6.40E+09	6.09E+09		
T o t a l <1>	9.00E+11	1.10E+12	1.33E+12	1.96E+12	2.88E+12	4.20E+12		
2. Keuntungan kapital								
- Keuntungan tahunan	3.94E+11	4.17E+11	4.39E+11	4.85E+11	5.30E+11	5.76E+11		
- Biaya O & M	2.48E+10	3.05E+10	3.61E+10	5.26E+10	7.56E+10	1.06E+11		
Keuntungan bersih peternakan	3.69E+11	3.86E+11	4.03E+11	4.32E+11	4.55E+11	4.67E+11		
3. Keuntungan bersih setelah 26 tahun	2.79E+12	3.63E+12	4.80E+12	6.22E+12	8.27E+12	1.07E+13		
4. Keuntungan bersih sekarang <2>	1.17E+12	1.41E+12	1.60E+12	2.06E+12	2.24E+12	2.39E+12		
Keuntungan BCR	2.72E+11	3.11E+11	3.51E+11	4.01E+11	3.65E+11	1.28E+11		
	1.3024	1.2836	1.2632	1.2042	1.1269	1.0305		

B A B VI

K E S I M P U L A N

Dari hasil perhitungan perkiraan besarnya erosi lahan yang terjadi pada DAS Lesti sebesar $2\,743\,696.49\text{ m}^3/\text{th}$, hal ini menyebabkan umur efektif Waduk Sengguruh menjadi 22.78 tahun dan umur efektif Waduk Karangates menjadi 11.78 tahun, sebagai tahun awal perhitungan adalah tahun 1994. Sehingga diperkirakan untuk Waduk Sengguruh hanya bisa dimanfaatkan sampai tahun 2016 saja, sedangkan Waduk Karangates berakhir pada tahun 2005.

Dengan adanya tindakan konservasi, erosi lahan yang terjadi pada DAS Lesti dapat ditekan menjadi $529\,558.94\text{ m}^3/\text{th}$. Sehingga besarnya sedimen yang masuk ke dalam kedua waduk tersebut akan berkurang, dan tentunya dengan berkurangnya sedimen yang masuk akan mengurangi jumlah sedimen yang akan mengendap. Keadaan itu akan menyebabkan umur efektif waduk menjadi lebih panjang, untuk Waduk Sengguruh umur efektifnya akan menjadi 58.32 tahun, jadi waduk ini akan berakhir hingga tahun 2052. Sedangkan untuk Waduk Karangates umur efektifnya dapat diperpanjang menjadi 27.10 tahun, yang akan berakhir pada tahun 2021.

Umur efektif Waduk Sengguruh pada waktu perencanaan adalah sekitar 50 tahun dari tahun 1989 (awal operasi) atau berakhir pada tahun 2039, dengan adanya tindakan

konservasi manfaat waduk dapat diperpanjang sekitar 13 tahun.

Untuk Waduk Karangates, umur efektif dalam perencanaan adalah sekitar 100 tahun atau berakhir tahun 2072, walaupun tidak menyamai atau melampaui dengan adanya tindakan konservasi paling tidak umur efektif waduk dapat didekati.

Dalam analisa biaya, biaya yang dikeluarkan untuk tindakan konservasi adalah sekitar Rp. 6.7 milyar (pada suku bunga 12%), sedangkan keuntungan yang didapat pada Waduk Karangates adalah sekitar Rp. 2.36 tilyun, sedangkan nilai BCR > 1, menunjukkan tindakan konservasi masih layak untuk dilaksanakan.

D A F T A R P U S T A K A

01. Ir. Nadjadji Anwar Msc., *REKAYASA PENGEMBANGAN SUMBER DAYA AIR*, Penerbit Kartika Yudha, Surabaya, 1986.
02. Ir. Bambang Soejadi Dipl. HE., *DIKTAT SEDIMENT TRANSPORT*.
03. DR. Ir. Wani Hadi Utomo, *KONSERVASI TANAH DI INDONESIA*, Rajawali Pers, Jakarta, 1989.
04. Prof. DR. Ir. Sitanala Arsyad, *KONSERVASI TANAH DAN AIR*, Penerbit IPB, Bogor, 1988.
05. Naik Sinukaban, *KONSERVASI TANAH DAN AIR*, Jurusan Tanah, IPB, 1985.
06. PT. Indra Karya, *ROUGH COST ESTIMATE FOR SENGGURUH HYDROPOWER PROJECT*, Oktober 1982.
07. Ray K. Linsley, Max A. Kohler, Joseph L.H. Paulhus, *HIDROLOGY for ENGINEERS*, alih bahasa : Ir. Yandi Hermawan, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1985.
08. Pusat Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Lembaga Penelitian IPB, *LAPORAN UTAMA*, Bogor, 1983.